

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-334190

(P2004-334190A)

(43) 公開日 平成16年11月25日(2004. 11. 25)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
G02F 1/313	G02F 1/313	2H047
G02B 6/12	G02B 6/12	2K002
G02B 6/122	G02B 6/12	
	G02B 6/12	C
	G02B 6/12	Z
	G02B 6/12	H

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2004-121655 (P2004-121655)	(71) 出願人	000006747
(22) 出願日	平成16年4月16日 (2004. 4. 16)		株式会社リコー
(31) 優先権主張番号	特願2003-113591 (P2003-113591)		東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
(32) 優先日	平成15年4月18日 (2003. 4. 18)	(74) 代理人	100101177
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 柏木 慎史
		(74) 代理人	100102130
			弁理士 小山 尚人
		(74) 代理人	100072110
			弁理士 柏木 明
		(72) 発明者	坂井 篤
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
			会社リコー内
		(72) 発明者	加藤 幾雄
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
			会社リコー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光制御素子及び光制御デバイス

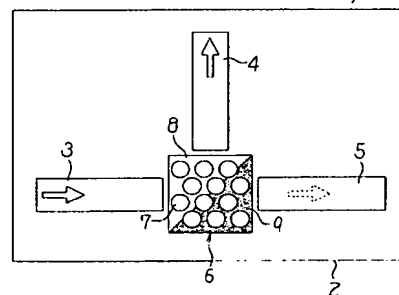
(57) 【要約】

【課題】 フォトニック結晶構造部分の屈折率を変調することで各種の光路変更を実現できる小型で高性能な光制御素子を提供する。

【解決手段】 基板 2 と、この基板 2 上に形成された光導波路 3、4、5 と、基板 2 上にフォトニック結晶構造 7 により形成されて光導波路 3、4、5 が接続された光結合部品 6 と、フォトニック結晶構造 7 の一部に設けられて光結合部品 6 を少なくとも 2 つの領域 8、9 に区分する屈折率可変部分と、を備え、屈折率可変部分の屈折率を変化させることで区分される領域の界面で少なくとも 1 つの波数に対して反射作用を呈して光の進行方向を変化させる構成により、光信号の経路変換器を光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積にて実現できるようにした。

【選択図】

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

この基板上にフォトニック結晶構造により形成された光結合部品と、

前記フォトニック結晶構造の一部に設けられて前記光結合部品を少なくとも 2 つの領域に区分する屈折率可変部分と、

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで区分される前記領域の界面で少なくとも 1 つの波数に対して反射作用を呈して光の進行方向を変化させるようにした光制御素子。

10

【請求項 2】

基板と、

この基板上に形成された光導波路と、

前記基板上にフォトニック結晶構造により形成されて前記光導波路が接続された光結合部品と、

前記フォトニック結晶構造の一部に設けられて前記光結合部品を少なくとも 2 つの領域に区分する屈折率可変部分と、

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで区分される前記領域の界面で少なくとも 1 つの波数に対して反射作用を呈して光の進行方向を変化させるようにした光制御素子。

20

【請求項 3】

基板と、

この基板上に形成された複数本の光導波路と、

前記基板上に形成されて少なくとも 3 本の前記光導波路が接続された光結合部品と、

接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成されたフォトニック結晶構造と、

を備え、

前記フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させることで当該フォトニック結晶構造に対応する前記光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにした光制御素子。

30

【請求項 4】

基板と、

この基板上に形成された複数本の光導波路と、

前記基板上にフォトニック結晶構造で多角形状に形成されて少なくとも 4 本の前記光導波路が接続された光結合部品と、

多角形状の前記光結合部品の対角線を結ぶ領域で区分された複数の屈折率可変部分と、

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路からの光の進行方向を偏向させるようにした光制御素子。

40

【請求項 5】

基板と、

この基板上に形成された複数本の光導波路と、

前記基板上にフォトニック結晶構造で多角形状に形成されて少なくとも 4 本の前記光導波路が接続された光結合部品と、

接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成されたフォトニック結晶構造と、

前記光導波路上に形成されたフォトニック結晶構造部分及び多角形状の前記光結合部品の対角線を結ぶ領域で区分された複数の屈折率可変部分と、

50

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路からの光の進行方向を偏向させるようにした光制御素子。

【請求項 6】

基板と、

この基板上に形成された複数本の光導波路と、

前記基板上にフォトニック結晶構造で多角形状に形成されて少なくとも 4 本の前記光導波路が接続された光結合部品と、

多角形状の前記光結合部品の対角線を結ぶ領域で区分された複数の屈折率可変部分と

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路からの光を分岐させるようにした光制御素子。

【請求項 7】

基板と、

この基板上に形成された複数本の光導波路と、

少なくとも 3 本の前記光導波路が接続された光結合部品と、

接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成され、電氣的横波を反射又は透過する構造と、磁氣的横波を反射又は透過する構造とを含む少なくとも 2 種類のフォトニック結晶構造と、

これらのフォトニック結晶構造部分に設定されて電氣的横波又は磁氣的横波の透過率が変化する屈折率可変部分と、

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで電氣的横波と磁氣的横波とを分離させるようにした光制御素子。

【請求項 8】

基板と、

この基板上に形成された複数本の光導波路と、

少なくとも 3 本の前記光導波路が接続された光結合部品と、

接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成され、電氣的横波を反射又は透過する構造と、磁氣的横波を反射又は透過する構造とを含む少なくとも 2 種類のフォトニック結晶構造と、

これらのフォトニック結晶構造部分に設定されて電氣的横波又は磁氣的横波の透過率が変化する屈折率可変部分と、

を備え、

前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにした光制御素子。

【請求項 9】

前記フォトニック結晶構造は、欠陥部分を有する、請求項 2 ないし 8 の何れか一記載の光制御素子。

【請求項 10】

前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造は、少なくとも 2 層のフォトニック結晶配列からなり、前記欠陥部分を有する層間若しくはフォトニック結晶構造部分全体に対して屈折率を変化させるようにした、請求項 9 記載の光制御素子。

【請求項 11】

前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造は、少なくとも 2 層の同じ層数のフォトニック結晶配列からなり、前記欠陥部分を有する層間若しくはフォトニック結晶構造部分全体に対して屈折率を変化させるようにした、請求項 9 記載の光制御素子。

【請求項 12】

前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造のフォトニック結晶配列が 10

10

20

30

40

50

層以下である、請求項 10 又は 11 記載の光制御素子。

【請求項 13】

前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造の前記欠陥部分の直線方向に直交する方向以外にフォトニック結晶を伝播して前記欠陥部分に入射する伝播波の伝播波数ベクトル成分を有する、請求項 10 ないし 12 の何れか一記載の光制御素子。

【請求項 14】

前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造は、大きさの異なる複数の欠陥部分を有する、請求項 3、9 ないし 13 の何れか一記載の光制御素子。

【請求項 15】

フォトニック結晶構造を有する基板と、
前記基板上の前記フォトニック結晶構造中に形成された複数本のフォトニック結晶線欠陥導波路と、
これらのフォトニック結晶線欠陥導波路が交差した光結合部分に設定された屈折率可変部分と、
を備え、
前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで前記光結合部分の共振状態を制御させるようにした光制御素子。

10

【請求項 16】

フォトニック結晶構造を有する基板と、
前記基板上の前記フォトニック結晶構造中に形成された複数本のフォトニック結晶線欠陥導波路と、
これらのフォトニック結晶線欠陥導波路により分離されたフォトニック結晶部分に各々設定された屈折率可変部分と、
を備え、
これらの前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させるようにした光制御素子。

20

【請求項 17】

基板と、
この基板上に 2 次元に交差させて形成された $N \times N$ 本の光導波路と、
これらの光導波路の交差部分に各々配設されて対応する光導波路が接続された N^2 個の光結合部品と、
を備え、
前記光結合部品部分周りが各々屈折率可変部分を含む請求項 1 ないし 14 の何れか一記載の光制御素子として形成されている光制御デバイス。

30

【請求項 18】

フォトニック結晶構造を有する基板と、
前記基板上の前記フォトニック結晶構造中に 2 次元に交差させて形成された $N \times N \times N$ 本のフォトニック結晶線欠陥導波路と、
を備え、
これらのフォトニック結晶線欠陥導波路が交差した光結合部分が各々屈折率可変部分を含む請求項 15 又は 16 記載の光制御素子として形成されている光制御デバイス。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトニック結晶構造を利用し光スイッチや光強度変調器等に応用可能な光制御素子及び光制御デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

フォトニック結晶は、波長程度の誘電体周期構造により、光子の禁制帯であるフォトニックバンドギャップを形成することや、強い分散性により特異な効果を示す点で、超微小光集積回路や新機能光素子として期待されている。これらの特性を利用することで、極め

50

て微小な光経路変更機能を持つ光スイッチや光強度変調器などの光制御素子が構成できる。

【0003】

光の経路変換器としては、その応用や材料によって様々な構成が提案されている。例えば、特許文献1によれば、屈折率が整合した作動流体にそれとは異なる屈折率を持つ光路変更液体を移動させることで、光の経路を変更させるようにしている。

【0004】

また、特許文献2によれば、光導波路の間に電磁石に挟まれたミラーを挿入することで、ミラーを動かして光の経路を変更させるようにしている。

【0005】

さらに、基幹系の光通信では、Micro Electro-mechanical system:MEMS技術による、反射鏡を使ったシステムが利用されている。

【0006】

ところが、これらの方法では、構成が簡単で消光比が大きく取れるという利点があるものの、熱式圧力発生装置や電磁石による機械的な物体移動を利用していることから、スイッチングスピードを速くすることが困難である。

【0007】

この点、高速な光スイッチとしては、ニオブ酸リチウムで構成された方向性結合器型若しくはマッハツェンダー型が一般的であり製品化がされているが、素子長が数cmと大きいために、半導体チップが配置されたボード内の光インタコネクション用光スイッチに用いることは困難である。

【0008】

一方、フォトニック結晶を用いた光経路変換器としては、スーパプリズム効果(PR B, vol. 1.58, p. 10096, 1998)と呼ばれるフォトニック結晶が持つ強い分散性を利用する方法が提案されている。スーパプリズム効果を利用した光路変換器は、例えば、特許文献3によりその構成例が示されている。

【0009】

図18は特許文献3により提案されている構成例の一つを示すものであり、電流注入前の導波路201を介してフォトニック結晶202の固有軸に対して斜めに入射され、フォトニック結晶中を伝搬する光の軌跡はフォトニック結晶202の分散特性によって図中、実線矢印で示す方向とする。即ち、チャンネル1(CH1)の導波路203へ光が出力される。一方、電流注入を行うとフォトニック結晶202を構成する媒質の屈折率が変化し、それに応じて屈折角が変化することで、伝搬光の軌跡は図中、破線矢印で示す方向に変化し、チャンネル2(CH2)の導波路204へ光が出力される。即ち、スーパプリズム効果により偏向角が大きく変わるために出射側導波路204に光がスイッチングされる方式である。

【0010】

【特許文献1】特開2002-221680公報

【特許文献2】特開2002-122798公報

【特許文献3】特開2002-303836公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ところが、フォトニック結晶によるスーパプリズム効果は入射角度、光の波長に極めて敏感であり、波長が少しでも変化すると偏向角が大きく変化してしまう。また、フォトニック結晶に対する入射角を固定する必要があるが、端面での反射も強く存在するために実用上の応用には解決しなくてはならない点が多い。

【0012】

また、フォトニック結晶をマッハツェンダーや方向性結合器で組み合わせられる干渉計に組み込んで、光の変調や光路変更を実現しようとする方式もあるが、具体的な構成法が詳

10

20

30

40

50

しく考慮されたものは殆どなく、実用化された素子はない。

【0013】

本発明の目的は、フォトリック結晶構造部分の屈折率を変調することで各種の光路変更を実現できる小型で高性能な光制御素子及び光制御デバイスを提供することである。

【0014】

より具体的には、光導波路幅と同程度の大きさを持つ微細で消光比が大きく、高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供することである。

【0015】

また、フォトリック結晶の偏光特性から生ずる設計の許容範囲を拡大できる光制御素子を提供することである。

【0016】

また、極めて微小な領域で構成され、光子の捕捉と開放が可能な光制御素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0017】

請求項1記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上にフォトリック結晶構造により形成された光結合部品と、前記フォトリック結晶構造の一部に設けられて前記光結合部品を少なくとも2つの領域に区分する屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで区分される前記領域の界面で少なくとも1つの波数に対して反射作用を呈して光の進行方向を変化させるようにした。

【0018】

従って、光の進行方向を変化させるために機械的な物体移動を利用しないので、消光比が大きくて高速で安定した光経路変換器等の光制御素子を構成できる。また、光の進行方向の変化に反射作用を利用しているので、複雑な光の干渉系や光回路の構成をとることなく、光スイッチ等の光制御素子を構成できる。

【0019】

請求項2記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された光導波路と、前記基板上にフォトリック結晶構造により形成されて前記光導波路が接続された光結合部品と、前記フォトリック結晶構造の一部に設けられて前記光結合部品を少なくとも2つの領域に区分する屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで区分される前記領域の界面で少なくとも1つの波数に対して反射作用を呈して光の進行方向を変化させるようにした。

【0020】

従って、請求項1記載の発明に加えて、光信号の経路変換器を光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積にて実現できる。さらには、フォトリック結晶のバンドギャップを利用することで、角度成分を持つビーム上の光を高効率で反射させることができるため、単一モードの導波路である必要はなく、多モードの導波路でも光導波路を構成することが可能となる。

【0021】

請求項3記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された複数本の光導波路と、前記基板上に形成されて少なくとも3本の前記光導波路が接続された光結合部品と、接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成されたフォトリック結晶構造と、を備え、前記フォトリック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させることで当該フォトリック結晶構造に対応する前記光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにした。

【0022】

従って、フォトリック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させて当該フォトリック結晶構造に対応する光導波路を伝送する光の透過率を変化させることで、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供できる。

10

20

30

40

50

【0023】

請求項4記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された複数本の光導波路と、前記基板上にフォトニック結晶構造で多角形状に形成されて少なくとも4本の前記光導波路が接続された光結合部品と、多角形状の前記光結合部品の対角線を結ぶ領域で区分された複数の屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路からの光の進行方向を偏向させるようにした。

【0024】

従って、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させて光導波路からの光の進行方向を偏向させることで、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供できる。

10

【0025】

請求項5記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された複数本の光導波路と、前記基板上にフォトニック結晶構造で多角形状に形成されて少なくとも4本の前記光導波路が接続された光結合部品と、接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成されたフォトニック結晶構造と、前記光導波路上に形成されたフォトニック結晶構造部分及び多角形状の前記光結合部品の対角線を結ぶ領域で区分された複数の屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路からの光の進行方向を偏向させるようにした。

【0026】

従って、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を独立して変化させて光導波路からの光の進行方向を偏向させることで、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供できる。

20

【0027】

請求項6記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された複数本の光導波路と、前記基板上にフォトニック結晶構造で多角形状に形成されて少なくとも4本の前記光導波路が接続された光結合部品と、多角形状の前記光結合部品の対角線を結ぶ領域で区分された複数の屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路からの光を分岐させるようにした。

【0028】

従って、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を独立して変化させて光導波路からの光を分岐させることで、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供できる。

30

【0029】

請求項7記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された複数本の光導波路と、少なくとも3本の前記光導波路が接続された光結合部品と、接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成され、電氣的横波を反射又は透過する構造と、磁氣的横波を反射又は透過する構造とを含む少なくとも2種類のフォトニック結晶構造と、これらのフォトニック結晶構造部分に設定されて電氣的横波又は磁氣的横波の透過率が変化する屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで電氣的横波と磁氣的横波とを分離させるようにした。

40

【0030】

従って、光導波路上に少なくとも2種類のフォトニック結晶構造を持たせて屈折率可変部分とし、その屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで電氣的横波と磁氣的横波とを分離させるようにしたので、フォトニック結晶の偏光特性から生ずる当該光制御素子の偏光依存性を解消することができ、偏光特性から生ずる設計の許容範囲を拡大することができる。

【0031】

請求項8記載の発明の光制御素子は、基板と、この基板上に形成された複数本の光導波路と、少なくとも3本の前記光導波路が接続された光結合部品と、接続された前記光結合部品側の端部に位置させて前記光導波路上に形成され、電氣的横波を反射又は透過する構

50

造と、磁氣的横波を反射又は透過する構造とを含む少なくとも２種類のフォトニック結晶構造と、これらのフォトニック結晶構造部分に設定されて電氣的横波又は磁氣的横波の透過率が変化する屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで前記光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにした。

【００３２】

従って、光導波路上に少なくとも２種類のフォトニック結晶構造を持たせて屈折率可変部分とし、その屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにしたので、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供できる。

【００３３】

請求項９記載の発明は、請求項２ないし８の何れか一記載の光制御素子において、前記フォトニック結晶構造は、欠陥部分を有する。

【００３４】

従って、例えば０．０１以下の微小な屈折率変化で光信号の透過率を制御することが可能となる。

【００３５】

請求項１０記載の発明は、請求項９記載の光制御素子において、前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造は、少なくとも２層のフォトニック結晶配列からなり、前記欠陥部分を有する層間若しくはフォトニック結晶構造部分全体に対して屈折率を変化させるようにした。

【００３６】

従って、請求項９記載の発明に加えて、フォトニック結晶全体又は特定領域全体の屈折率変化を生じさせる方法以外に、欠陥部分のみの屈折率変化を生じさせることができる。

【００３７】

請求項１１記載の発明は、請求項９記載の光制御素子において、前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造は、少なくとも２層の同じ層数のフォトニック結晶配列からなり、前記欠陥部分を有する層間若しくはフォトニック結晶構造部分全体に対して屈折率を変化させるようにした。

【００３８】

従って、請求項９記載の発明に加えて、欠陥部分からの層数を同じにすることで、光の入出射面からのフォトニック結晶層数が均等になるために、より効率よく光の経路を変更できる。

【００３９】

請求項１２記載の発明は、請求項１０又は１１記載の光制御素子において、前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造のフォトニック結晶配列が１０層以下である。

【００４０】

従って、請求項１０又は１１記載の発明に加えて、欠陥部分を挟むフォトニック結晶の層数を制御することで、欠陥部分での共振器特性を変化させ、光の透過率を保ちながら屈折率変化により光を偏向させることができる。

【００４１】

請求項１３記載の発明は、請求項１０ないし１２の何れか一記載の光制御素子において、前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造の前記欠陥部分の直線方向に直交する方向以外にフォトニック結晶を伝播して前記欠陥部分に入射する伝播波の伝播波数ベクトル成分を有する。

【００４２】

従って、請求項１０ないし１２記載の発明に加えて、２次元面内で形成されたフォトニック結晶構造の欠陥部分に対して傾いている波数を持つ光を入射しても、光の透過率を制御することができる。

【００４３】

10

20

30

40

50

請求項 1 4 記載の発明は、請求項 3、9 ないし 1 3 の何れか一記載の光制御素子において、前記光導波路上に形成された前記フォトニック結晶構造は、大きさの異なる複数の欠陥部分を有する。

【0044】

従って、等価波長帯域幅を広げることとも可能となり、例えば、半導体レーザの発振波長の揺らぎに対する許容範囲を広げた光スイッチや光変調器等の光制御素子を構成することが可能となる。

【0045】

請求項 1 5 記載の発明の光制御素子は、フォトニック結晶構造を有する基板と、前記基板上の前記フォトニック結晶構造中に形成された複数本のフォトニック結晶線欠陥導波路と、これらのフォトニック結晶線欠陥導波路が交差した光結合部分に設定された屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで前記光結合部分の共振状態を制御させるようにした。

10

【0046】

従って、フォトニック結晶線欠陥導波路が交差した光結合部分に設定された屈折率可変部分の屈折率を変化させることで、光結合部分の共振状態を制御させることにより、光信号の捕捉と開放とが可能となる光スイッチ、光信号遅延素子、光フィルタ等の光制御素子を構成することができる。

【0047】

請求項 1 6 記載の発明の光制御素子は、フォトニック結晶構造を有する基板と、前記基板上の前記フォトニック結晶構造中に形成された複数本のフォトニック結晶線欠陥導波路と、これらのフォトニック結晶線欠陥導波路により分離されたフォトニック結晶部分に各々設定された屈折率可変部分と、を備え、これらの前記屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させるようにした。

20

【0048】

従って、フォトニック結晶線欠陥導波路により分離されたフォトニック結晶部分に各々設定された屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることにより、光信号の捕捉と開放とが可能となる光スイッチ、光信号遅延素子、光フィルタ等の光制御素子を構成することができる。

【0049】

請求項 1 7 記載の発明の光制御デバイスは、基板と、この基板上に 2 次元に交差させて形成された $N \times N$ 本の光導波路と、これらの光導波路の交差部分に各々配設されて対応する光導波路が接続された N^2 個の光結合部品と、を備え、前記光結合部品部分周りが各々屈折率可変部分を含む請求項 1 ないし 1 4 の何れか一記載の光制御素子として形成されている。

30

【0050】

従って、 $N \times N$ マトリックススイッチなる光制御デバイスを極めて微小な領域に構成することが可能となり、電子回路基板上に配置可能となり、よって、ボード内の光インタコネクション用光スイッチとして利用することができる。

【0051】

請求項 1 8 記載の発明の光制御デバイスは、フォトニック結晶構造を有する基板と、前記基板上の前記フォトニック結晶構造中に 2 次元に交差させて形成された $N \times N \times N$ 本のフォトニック結晶線欠陥導波路と、を備え、これらのフォトニック結晶線欠陥導波路が交差した光結合部分が各々屈折率可変部分を含む請求項 1 5 又は 1 6 記載の光制御素子として形成されている。

40

【0052】

従って、2 次元に交差させて形成された $N \times N \times N$ 本のフォトニック結晶線欠陥導波路によるマトリックススイッチなる光制御デバイスを極めて微小な領域に構成することが可能となり、電子回路基板上に配置可能となり、よって、ボード内の光インタコネクション用光スイッチとして利用することができる。

50

【発明の効果】

【0053】

請求項1記載の発明の光制御素子によれば、基板と、この基板上にフォトニック結晶構造により形成された光結合部品と、前記フォトニック結晶構造の一部に設けられて前記光結合部品を少なくとも2つの領域に区分する屈折率可変部分と、を備え、前記屈折率可変部分の屈折率を変化させることで区分される前記領域の界面で少なくとも1つの波数に対して反射作用を呈して光の進行方向を変化させるようにしたので、光の進行方向を変化させるために機械的な物体移動を利用しないことから、消光比が大きくて高速で安定した光経路変換器等の光制御素子を構成でき、また、光の進行方向の変化に反射作用を利用しているため、複雑な光の干渉系や光回路の構成をとることなく、光スイッチ等の光制御素子を構成することができる。

10

【0054】

請求項2記載の発明の光制御素子によれば、請求項1記載の発明に加えて、光信号の経路変換器を光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積にて実現することができ、さらには、フォトニック結晶のバンドギャップを利用することで、角度成分を持つビーム上の光を高効率で反射させることができるため、単一モードの導波路である必要はなく、多モードの導波路でも光導波路を構成することができる。

【0055】

請求項3記載の発明の光制御素子によれば、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させて当該フォトニック結晶構造に対応する光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにしたので、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供することができる。

20

【0056】

請求項4記載の発明の光制御素子によれば、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させて光導波路からの光の進行方向を偏向させることで、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供することができる。

【0057】

請求項5記載の発明の光制御素子によれば、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を独立して変化させて光導波路からの光の進行方向を偏向させるようにしたので、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供することができる。

30

【0058】

請求項6記載の発明の光制御素子によれば、フォトニック結晶構造部分を屈折率変化部分としてその屈折率を独立して変化させて光導波路からの光を分岐させるようにしたので、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供することができる。

【0059】

請求項7記載の発明の光制御素子によれば、光導波路上に少なくとも2種類のフォトニック結晶構造を持たせて屈折率可変部分とし、その屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで電氣的横波と磁氣的横波とを分離させるようにしたので、フォトニック結晶の偏光特性から生ずる当該光制御素子の偏光依存性を解消することができ、偏光特性から生ずる設計の許容範囲を拡大することができる。

40

【0060】

請求項8記載の発明の光制御素子によれば、光導波路上に少なくとも2種類のフォトニック結晶構造を持たせて屈折率可変部分とし、その屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることで光導波路を伝送する光の透過率を変化させるようにしたので、光導波路と同程度の幅を持つ微細な面積で、消光比が大きくて高速で安定した動作が可能な光制御素子を提供することができる。

【0061】

50

請求項 9 記載の発明によれば、請求項 2 ないし 8 の何れか一記載の光制御素子において、フォトニック結晶構造は、欠陥部分を有するので、例えば 0.01 以下の微小な屈折率変化で光信号の透過率を制御することができる。

【0062】

請求項 10 記載の発明によれば、請求項 9 記載の発明に加えて、フォトニック結晶全体又は特定領域全体の屈折率変化を生じさせる方法以外に、欠陥部分のみの屈折率変化を生じさせることができ、よって、屈折率を変化させる部分が小さくてよいので、電圧印加により屈折率を変化する場合には作製電極面積を小さくできると同時に、消費電力を小さくことができ、また、光照射により屈折率を変化する場合においても、その光照射部分を小さくすることにより、必要光出力や消費電力を大きく低減することができる。

10

【0063】

請求項 11 記載の発明によれば、請求項 9 記載の発明に加えて、欠陥部分からの層数を同じにすることで、光の入出射面からのフォトニック結晶層数が均等になるために、より効率よく光の経路を変更できる。

【0064】

請求項 12 記載の発明によれば、請求項 10 又は 11 記載の発明に加えて、欠陥部分を挟むフォトニック結晶の層数を制御することで、欠陥部分での共振器特性を変化させ、光の透過率を保ちながら屈折率変化により光を偏向させることができる。

【0065】

請求項 13 記載の発明によれば、請求項 10 ないし 12 記載の発明に加えて、2次元面内で形成されたフォトニック結晶構造の欠陥部分に対して傾いている波数を持つ光を入射しても、光の透過率を制御することができ、斜めに入射した光に対する偏向光の制御を可能にすることができる。

20

【0066】

請求項 14 記載の発明によれば、請求項 3、9 ないし 13 の何れか一記載の光制御素子において、等価波長帯域幅を広げることとも可能となり、例えば、半導体レーザの発振波長の揺らぎに対する許容範囲を広げた光スイッチや光変調器等の光制御素子を構成することができる。

【0067】

請求項 15 記載の発明の光制御素子によれば、フォトニック結晶線欠陥導波路が交差した光結合部分に設定された屈折率可変部分の屈折率を変化させることで、光結合部分の共振状態を制御させることにより、光信号の捕捉と開放とが可能となる光スイッチ、光信号遅延素子、光フィルタ等の光制御素子を構成することができる。

30

【0068】

請求項 16 記載の発明の光制御素子によれば、フォトニック結晶線欠陥導波路により分離されたフォトニック結晶部分に各々設定された屈折率可変部分の屈折率を独立して変化させることにより、光信号の捕捉と開放とが可能となる光スイッチ、光信号遅延素子、光フィルタ等の光制御素子を構成することができる。

【0069】

請求項 17 記載の発明の光制御デバイスによれば、 $N \times N$ マトリックススイッチなる光制御デバイスを極めて微小な領域に構成することが可能となり、電子回路基板上に配置可能となり、よって、ボード内の光インタコネクション用光スイッチとして利用することができる。

40

【0070】

請求項 18 記載の発明の光制御デバイスによれば、2次元に交差させて形成された $N \times N \times N$ 本のフォトニック結晶線欠陥導波路によるマトリックススイッチなる光制御デバイスを極めて微小な領域に構成することが可能となり、電子回路基板上に配置可能となり、よって、ボード内の光インタコネクション用光スイッチとして利用することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0071】

50

本発明の実施の形態を以下に数例挙げて説明する。

【0072】

〔第一の実施の形態〕

本発明の第一の実施の形態を図1ないし図3及び図19ないし図23に基づいて説明する。図1は本実施の形態の光制御素子1の構成例を示す原理的な平面図である。まず、基板2が設けられ、この基板2上に例えば3本の光導波路3, 4, 5が形成され、これらの光導波路3, 4, 5が光結合部品としての光偏向部6によって接続されている。ここでは、光導波路3が入射側とされ、出射側の光導波路4, 5同士は直交配置されている。もっとも、光導波路の本数は3本に限らず、4本以上でも良く、また、光偏向部6に対して入射側と出射側とに光導波路が必ずしも接続されている必要はなく、空間伝搬でも良い。

10

【0073】

光偏向部6には、周期的な屈折率（誘電率）分布を基板2上に形成することで作製されたフォトニック結晶構造7が構成されている。フォトニック結晶構造7は、周期構造を調整することで、光子の禁制体であるフォトニックバンドギャップを持たせることが可能である。フォトニック結晶の特性は、基板2と光原子の誘電率の差、その配置、光の波長と光原子の大きさ、光原子間の距離などによって決定される。そのため、これらのどれかを変化させれば、フォトニック結晶構造7の特性を変化させることができる。特に、フォトニックバンドギャップが存在するフォトニック結晶構造7に対して、光原子又は基板2の屈折率を変化させれば、フォトニックバンドを変化させることが可能となる。

【0074】

そのため、フォトニック結晶構造7の屈折率を変化させ、フォトニック結晶構造7の透過率を変化させることで、ある範囲の波長に対して屈折率変化前は光の透過体であるのを、屈折率変化後は光の反射体に変化させることができる。

20

【0075】

この現象を利用するために、本実施の形態では、光偏向部6のフォトニック結晶構造7は屈折率が増加する構成になっている。このような屈折率の変化には、電気光学効果、熱光学効果、半導体薄膜のキャリアプラズマ効果、光カー効果などを用いる。これらの物理現象は構成される材料によって異なるが、屈折率が増加する材料でフォトニック結晶構造7が構成されている。

【0076】

この光偏向部6に関して、本実施の形態では、対角線に従い2つの領域8, 9に区分し、これらの領域8, 9を屈折率可変部分として電界印加、光照射などにより屈折率を個別に変化させることができるように構成されている。屈折率が増加することで、フォトニック結晶の反射率が増加するために、光の透過・反射を制御することができる。

30

【0077】

例えば、入射側の導波路3からフォトニック結晶構造6に対して透明な波長を持つ入射光が入射してきたとき、領域8, 9に屈折率変化を与えなければ、光の直進性により、光信号はフォトニック結晶構造6による光偏向部5を素通りして光導波路5に伝達していく。しかし、領域9の屈折率を変化させ、伝搬波長がフォトニックバンドギャップ内に入ると、光は反射して、直交配置された光導波路4側に伝搬していく。屈折率変化を与える構造を図1に示すようにプリズムミラー型にしておけば、高効率で光を反射させることができる。さらに、屈折率を変化させる部分は調整することが可能であるので、任意の方向に光の経路（進行方向）を変換させることができる。

40

【0078】

よって、基本的に、本実施の形態によれば、機械的にミラーをマイクロマシン技術によって可変することによりこのような経路変更を行う方式と比較して、機械移動でない点で、安定性に優れており、また、高速な経路変更も期待できる。

【0079】

また、本実施の形態のような光の反射は、光経路変換手段として特に有効である。これは、光の損失を生じることなく、かつ、特定波長に対して光の進行方向を制御することが

50

できるからである。もっとも、このような例に限らず、この他、光変調手段、光波長選択手段、光信号時分割手段、パルス発生器としても用いることができる。

【0080】

また、単に屈折率可変部分を設けるのみではなく、LN基板やLT基板にKTP基板に対して、分極反転処理部分を設けた擬似位相整合構造を設け、非線形光学効果と組み合わせることも効果的である。非線形光学効果により生じた特定のSHG光や4光波混合光又は元の入力光のみを、微小領域において、選択的に反射又は透過により、光経路を変更することが可能である。擬似位相整合としては、通常の擬似位相整合以外に反結合擬似位相整合であってもよい。さらに、フォトリソニック結晶により群速度を低下させて実効的な非線形光学定数を増加させたりすることが効果的である。また、フォトリソニック結晶構造自体で位相速度を一致又は変化させて、擬似位相整合構造が不要な非線形励起構造としたり、位相速度変化を考慮した擬似位相整合構造とさせたりすることも効果的である。

10

【0081】

また、フォトリソニック結晶の孔構造又は柱構造又は別途に基板に垂直に設けた溝構造により、電極による電圧印加やイオン拡散による分極反転処理において、その空隙を有する構造により分極反転処理部分が分離されるので、従来より微細なピッチの擬似位相整合構造を設けることができる。さらに、フォトリソニック結晶の孔構造又は柱構造又は別途に基板に垂直に設けた溝構造に設けた電極により電圧印加することで、電圧の印加される部分自体を分離することもできる。

【0082】

ところで、図1に示す例では、光偏向部5の全面にフォトリソニック結晶構造6が構成されているが、図1に示すように単純に光導波路4又は5なる2方向への分岐であれば、領域8部分にはフォトリソニック結晶構造6が構成されている必要はない。ただし、このときは領域9部分のフォトリソニック結晶構造6は斜めに切断されているのではなく、フォトリソニック結晶構造6に対して素直に光が入射できるように、反射させたい方向に入射面を傾けておく。例えば、三角格子であれば、格子同士の配置角度が60度であるので、60度又は30度で反射させるか、図1に示すように45度で反射させる場合には、結晶自体を45度傾けて反射させる方法を取る。正方格子の場合も同様で、格子の配置角度が90度であるので、45度で反射させる場合には、フォトリソニック結晶の配置で実現可能であるが、任意の角度に対してはその角度に傾ける必要がある。

20

30

【0083】

また、図1では光導波路3、4、5として光ファイバを光が伝搬するように全反射型の光導波路としているが、フォトリソニック結晶構造6が搭載されている導波路でもよく、また、フォトリソニック結晶の一部に欠陥を導入した線欠陥導波路でもよい。

【0084】

このフォトリソニック結晶の線欠陥導波路を用いた場合の変形構成例を、図19ないし図23に基づいて説明する。図19は、全反射型の光導波路の代わりに、フォトリソニック結晶による線欠陥導波路を用いた光制御素子1の構成例を示す原理的な平面図である。図18においては、屈折率変化部分としての領域8、9に接続された1列の欠陥からなる3つの線欠陥導波路301、302、303を有し、領域8、9は、電界印加、光照射などによりその屈折率を個別に変化させることができるように構成されている。このとき、線欠陥導波路301から入射した伝播光は、領域8、9の屈折率を変化させることにより、伝播光を線欠陥導波路303に直進させたり、線欠陥導波路302に反射させたりすることを選択的に行うことにより、高速の偏向器、経路変更器、変調器として用いることができる。

40

【0085】

また、図19に示す構成例は、線欠陥導波路が1列の欠陥に限定されわけではない。図20は、屈折率変化部分としての領域8、9に接続された複数の欠陥からなる3つの線欠陥導波路304、305、306を用いた場合の構成例を示し、基板水平方向の伝播モードを複数生じることができるようになり、利用できる伝播光の種類を多くし、光制御の効果をより大きくすることができるようになる。

50

【0086】

また、屈折率変化部分としての領域は、2つの領域をフォトニック結晶中に設けることに限定されるわけではない。図21及び図22は、屈折率変化部分としての領域307を1つのみ設けたものであり、光が伝播している線欠陥導波路の欠陥部分の屈折率に対して、屈折率変化部分の1つの領域307の屈折率を変化させることにより、直進と反射を制御することができる。また、これらの屈折率変化部分となる領域307は、異なる2種類以上の材料を複合させることにより形成してもよいし、光学結晶や非線形材料等からなる同一の材料からなる導波路部分に、電界印加、光照射することによって形成してもよい。また、図23に示すように線欠陥導波路308の中央部に屈折率を変化させる領域307を設けることにより小型変調器としてもよい。また、この場合の反射光をサーキュレータを用いて分離して経路変更器としてもよい。このときの屈折率変化部分の領域307は、線欠陥導波路308に対して鋭角となる角度を有する界面に限定されるわけではなく、直線欠陥導波路の欠陥方向と垂直に設けてもよい。斜めの場合においては、界面インピーダンスを連続低に変化することができるので、その界面反射成分を低減して、透過率を向上させることができる。

10

【0087】

ところで、本実施の形態のような光制御素子1の構成は、その一例として、以下のようにして実現できる。例えば、光の管内波長程度の厚みを持つ半導体薄膜に円孔をリソグラフィとエッチングで構成すれば、屈折率3の半導体に2次元の空気円孔を構成できる。誘電率分布は必ずしも円形である必要は無く、方形、多角形でも良い。この半導体薄膜は量子井戸や歪量子井戸が形成されたInP基板、GaAs基板を選択エッチングすることにより、薄膜を空気に露出させることで形成できる。また、屈折率1.45のSiO₂上に形成された波長程度の厚みのSi薄膜をもつSOI (Silicon on insulator) 基板を用いても形成することができ、多くの論文で報告されている。特に、SOI基板は電子回路に用いられるために開発されたために、結晶品質やコストの面できわめて利用価値が高い。

20

【0088】

空気と半導体との全反射で上下方向に光は閉じ込められるが、薄膜面内では形成された2次元フォトニック結晶の特性が利用できる。このスラブ型2次元フォトニック結晶部に光導波路を接続することで、本実施の形態の光制御素子1の構造を形成することができる。

30

【0089】

また、このような構造をニオブ酸リチウムやニオブ酸チタン、KTP等の無機結晶、若しくはPZT、PZLT等のセラミックスによる薄膜構造を低屈折率媒質上に形成、若しくは空気境界となるエアブリッジ構造にし、薄膜にフォトニック結晶を形成しても実現することができる。さらには、ネマチックやスメクチック構造を有する液晶や、アゾ色素、スチルベンゼン色素、ダストなどの有機分子又は有機結晶薄膜を低誘電体層上に形成し、フォトニック結晶構造を構成しても可能である。もちろん2次元構造で形成してもよい。例えば、半導体ストライプを積層することで構成された3次元フォトニック結晶内に有機材の屈折率変化構造を導入することで構成することが可能である。

40

【0090】

ところで、本実施の形態の構成の光制御素子1の動作原理を計算機シミュレーションによって確認したので、図2を参照して以下にその結果を説明する。まず、屈折率が変わることによって、フォトニックバンドが変化する現象はフォトニックバンド解析によって確かめることができる。

【0091】

フォトニックバンドの解析手法の1つである平面波展開法で計算した結果を図2に示す。屈折率3.5の基板に、三角格子の円孔によるフォトニック結晶構造が構成され、その円孔内部に屈折率が1.4又は1.6の媒質を埋め込んだ構成例に対して解析を行ったものである。このような構成は半導体基板に液晶を充填することで実現できる。円孔間の距

50

離ピッチ a に対して円孔の半径 r は、 $r = 0.9a$ で決定される値を用いた。

【0092】

ここでは、2次元での解析とし、基板面内に電界が存在する電氣的横波(Transverse Electric: TE)モードのフォトニックバンドを計算している。

【0093】

図2(a)が屈折率1.4に対するバンド図であり、図2(b)が屈折率1.6に対するバンド図である。網目で表した部分がフォトニックバンドギャップであり、2次元面内のあらゆる方向の波数に対して、光伝搬が禁止されている領域である。

図2(a)に比べて図2(b)は、このバンドギャップの位置が規格化周波数(Normalized Frequency)の低い方向にシフトしている。つまり、規格化周波数0.35の光は屈折率1.4ではバンドギャップ内にあるために光は透過しないが、屈折率1.6ではバンドギャップから外れてしまうので、フォトニックバンドによって決定された規格化周波数で光が透過する。これらのフォトニックバンド図によって、屈折率制御により光の透過率制御ができることがわかる。

【0094】

このような光制御素子1は、他例として、例えば半導体基板と液晶とを用いることにより構成できる。つまり、GaAsやSi基板にフォトリソグラフィとエッチングによって、光の波長であれば、 $1\mu\text{m}$ 以下の微小円孔を作製し、作製された円孔部分に液晶を注入することで構成することができる。ネマチック液晶に代表される液晶の多くは電界印加により変化する屈折率異方性を示し、その屈折率差は0.2程度である。また、薄膜スラブ構造であれば、上下方向の光の閉じ込めも可能となるので、光がリークすることなく上述のような構成を実現することができる。薄膜スラブ構造としてはSOI基板を用いることができ、スラブ部分の厚みは $1\mu\text{m}$ 以下が好ましく、上下方向で単一モード伝搬する厚みであればより好ましい。そのため、このような構成をとることで円孔内の屈折率を変化させることが可能な光制御素子1を構成することができる。

【0095】

また、SOI基板の上にSi円柱を形成し、周囲を液晶で埋める構成をとり、光導波路を有機材料で形成してもよい。これは高誘電率材料である円柱が低誘電率である液晶で囲まれている構成となるが、設計値を最適化することで、上述したような効果をもたせることができる。

【0096】

このような構成であれば、屈折率の低い光導波路が形成できるために、光ファイバなどとの結合システムを比較的容易に構成することが可能となる。

【0097】

このような光制御素子1は、さらに他例として、以下のように作製することができる。即ち、ニオブ酸リチウム(LN)のZ軸カット結晶基板の表面を、CF系ガスに対してメタルマスクを用いてドライエッチングする。これにより、 $1\mu\text{m}$ の深さの微細孔を有する基板表面を得る。この後、熱酸化シリコン膜付きシリコン基板と、この表面に微細孔を有するLN基板とを貼り合わせて、酸化物同士の接合を行う。この後、LN基板の裏面を機械研磨、CMP研磨又はイオン研磨して、LN基板の厚さを $1\mu\text{m}$ とし、微細孔を貫通させる。微細孔には、予めシリコン酸化物又はシリコン窒素膜又は高分子膜等を充填しておくことで、研磨による微細孔の破損が少なくなる。この後、レジストマスクを用いてシリコン酸化物膜及び微細孔の充填物質をウェットエッチングにより部分的に除去することにより、エアギャップ・スラブ型LNフォトニック結晶を作製することができる。

【0098】

予めLNの微細孔付近の上下部分や、微細孔に電極を設けておくと、微小空間に強電解を印加することができ、より効果的である。さらに、シリコン上に電気駆動素子を設けておき、エレクトロフォレシスによりLN上の電極とシリコン上の電気駆動素子との電氣的接続を行い、複合基板による電気駆動素子一体型の光制御素子を作製することができる。

【0099】

10

20

30

40

50

ニオブ酸リチウムに代えて、ニオブ酸チタン、KTP、SBN (SrBaNb複合酸化物)、チタン酸バリウム等の無機結晶や高屈折率の有機材料若しくはPZT、PZLT、チタン酸バリウム等の無機セラミックスに対して、同様にドライエッチングにより微細孔を作製してもよい。また、シリコン基板に代えて、LN基板、MgOドープLN基板、GaAs基板、その他の基板を用いてもよい。

【0100】

さらに、これらのLNのフォトニック結晶の一部に、プロトン拡散又はチタン拡散による導波路を設けたり、ダイシングやドライエッチによるリッジ形又は埋め込み形導波路を作製してもよい。さらに、フォトニック結晶層や、多層に重ねられて、多層のスラブ導波路や3次元導波路であってもよい。

10

【0101】

また、LNやPZTの薄膜又はフォトニック結晶構造薄膜は、結晶を用いることに限定されるわけではなく、ゾルゲル法を用いた前駆体及びその前駆体のドライエッチングにより作製してもよい。

【0102】

また、シリコン上にドライエッチングにより形成した微細孔に液晶を充填してもよい。このとき、液晶の配向を基板に対して垂直な方向とし、横電界を印加することにより作製した、液晶フォトニック結晶を用いることも効果的である。さらには、単なる基板ではなく、LN基板のような電気光学効果を有する基板に液晶を部分的に充填して、複合的に電気光学効果を生じさせてもよい。

20

【0103】

ところで、光の透過率変化が起こる現象を確認するために、時間領域差分法(Finite Difference Time Domain (FDTD) Method)でシミュレーションを行った。前述したような平面波展開法でのモデルを基に、光の波長を $1.3\mu\text{m}$ 、円孔のピッチ a を $0.44\mu\text{m}$ 、円孔の半径 r を $0.198\mu\text{m}$ ($2r=0.9a$)とした。フォトニック結晶部分は10層とした。これは層厚 $4\mu\text{m}$ と極めて微細な層厚に相当する。 $\Gamma-X$ 方向に平面波を入射し、フォトニック結晶構造6の入射側と出射側での光のパワー比から算出した波長(Wavelength)に対する透過率(Transmittance)を図3に示す。波長 $1.3\mu\text{m}$ において、屈折率変調により透過率は35dB以上の変化が生じている。これは、透過と反射とを制御するのに十分な消光比であり、さらに消光比が30dB以上取れる波長範囲も50nmと広い。波長範囲が広ければ、半導体レーザ自身の発熱などにより変動しやすい発振波長の高精度な制御を必要としなくなる利点がある。フォトニック結晶構造6を利用すると、平面波ではなく波数の角度成分が大きいビームも、フォトニックバンドギャップにかかっていれば反射することが可能である。

30

【0104】

[第二の実施の形態]

本発明の第二の実施の形態を図4に基づいて説明する。図4は、本実施の形態の光制御素子11の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子11は、基板(図示せず)上に3本の光導波路12、13、14を例えば互いに120度の角度を持たせて形成し、これらの光導波路12、13、14の中心部に光結合部品としての光偏向部15が例えば正三角形形状に形成されて設けられ、各々の光導波路12、13、14の一端が接続されている。ここに、各々の光導波路12、13、14の光偏向部15側の端部上には、その導波路幅にてフォトニック結晶構造16、17、18が各々独立して屈折率を変化させることで透過率の制御が可能な屈折率可変部分として形成されている。

40

【0105】

なお、図示例では、光偏向部15に接続されている光導波路の本数は3本であるが、3本に限らず、4本以上の光導波路であってもよい。もっとも、光導波路12、13、14には幅があるので、多数接続すると、接続部分の面積が大きくなることに起因して回折により光が広がるために結合効率が低くなるので、4本程度がより好ましい。また、光導波路12、13、14の幅は単一モードでもよいし、マルチモードに対応した幅でも良い。

50

一般的に全反射を用いた光回路であると、マルチモードは扱いにくい、本実施の形態の場合、フォトニック結晶構造 16, 17, 18 をミラーとして用いているので、特定偏向に対してはあらゆる方向の波数に対して高い反射率を持たせることができる。

【0106】

〔第三の実施の形態〕

本発明の第三の実施の形態を図 5 に基づいて説明する。図 5 は、本実施の形態の光制御素子 21 の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子 21 は、基板（図示せず）上に 4 本の光導波路 22～25 を例えば互いに直交する十字状に配置させて形成し、これらの光導波路 22～25 の中心部に光結合部品としての光偏向部 26 が例えば正形状（多角形状の一つ）に形成されて設けられ、各々の光導波路 22～25 の一端が接続されている。なお、光導波路の本数としては、図示例の 4 本に限らず、5 本以上であってもよい。もっとも、第二の実施の形態の場合と同様に、多数の光導波路が接続されていると、接続部分の面積が大きくなるために、回折の影響で光が広がってしまい、損失の原因になるので、4 本程度がより好ましい。

10

【0107】

また、光偏向部 26 には、周期的な屈折率（誘電率）分布を基板上に形成することで作製されたフォトニック結晶構造 27 が構成されている。さらに、この光偏向部 26 は 2 本の対角線に従い直角 2 等辺三角形の 4 つの領域 28～31 に区分され、各々の領域 28～31 が各々個別に屈折率を変化させてフォトニック結晶ミラーを構成可能な屈折率変化部分とされている。

20

【0108】

つまり、本実施の形態の光制御素子 21 において、何れの領域 28～31 に関してもその屈折率を変化させなければ、光導波路 22 から入射した光は光の直進性から光導波路 24 から出力される。一方、領域 30, 31 の屈折率を変化させ、光の透過率を変化させれば、本実施の形態ではプリズム形状の反射体（フォトニック結晶ミラー）となるので、光導波路 22 から入射した光は、光偏向部 26 の領域 30, 31 の界面で反射されて、光導波路 23 から出射される。

【0109】

同様に、領域 29, 30 の屈折率を変化させれば、光は光導波路 25 から出射される。

【0110】

このように、屈折率を変化させる領域 28～31 の組み合わせにより、光導波路 22 からの光の進行方向を任意方向に向けて偏向させることができる。

30

【0111】

〔第四の実施の形態〕

本発明の第四の実施の形態を図 6 に基づいて説明する。図 6 は、本実施の形態の光制御素子 41 の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子 41 は、基板（図示せず）上に 4 本の光導波路 42～45 を例えば互いに直交する十字状に配置させて形成し、これらの光導波路 42～45 の中心部に光結合部品としての光偏向部 46 が例えば正形状（多角形状の一つ）に形成されて設けられ、各々の光導波路 42～45 の一端が接続されている。

40

【0112】

また、光導波路 42～45 の光偏向部 46 側の端部、及び、光偏向部 46 には、フォトニック結晶構造 47～51 が各々構成されている。さらに、この光偏向部 46 は 2 本の対角線に従い直角 2 等辺三角形の 4 つの領域 52～55 に区分されている。これらの各々の領域 52～55 及びフォトニック結晶構造 48～51 部分が各々個別に屈折率を変化させることが可能な屈折率変化部分とされている。例えば、電気光学材料による電気光学効果を用いる場合であれば、電極を独立に構成すれば、電界を独立に印加することが可能となる。また、熱光学効果を用いるのであれば、ヒータを個別につけることで可能となる。

【0113】

これらの屈折率可変部（領域 52～55、フォトニック結晶構造 48～51 部分）の屈

50

折率変化の組み合わせにより光を任意の方向に伝搬させることが可能となる。

【0114】

例えば、屈折率可変部（フォトリック結晶構造49, 51部分）の屈折率を変化させることで、光導波路42から入射した光信号が直進し、光導波路44から出射される。光の直進性からすると、屈折率可変部（フォトリック結晶構造49, 51部分）の屈折率を変化させなくても、光が光導波路44から出射されるが、回折により光導波路43, 45に漏れてしまう光を屈折率可変部（フォトリック結晶構造49, 51部分）により抑制できる効果があり、光伝搬損失を低下させる。即ち、結合効率を上げるために屈折率可変部（フォトリック結晶構造49, 51部分）を設けることが本実施の形態の特徴である。

【0115】

また、屈折率可変部（フォトリック結晶構造49, 50部分）の屈折率を変化させれば、光導波路42からの光を光導波路45に偏向させることが可能であるが、4本以上の光導波路が接続された構成の場合、逆進などの影響で光が高効率に光導波路45に結合できなくなる。そこで、屈折率可変部（領域53, 54）の屈折率を変化させれば、プリズム形状の反射により、光は光導波路45に高効率で入射させることが可能である。

【0116】

つまり、本実施の形態では、第二、第三の実施の形態を組み合わせることで、高効率に光を任意の方向に高効率に結合することを可能としたものである。

【0117】

〔第五の実施の形態〕

本発明の第五の実施の形態を図7に基づいて説明する。図7は、本実施の形態の光制御素子61の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子61は、基板（図示せず）上に4本の光導波路62～65を例えば互いに直交する十字状に配置させて形成し、これらの光導波路62～65の中心部に光結合部品としての光偏向部66が例えば正形状（多角形状の一つ）に形成されて設けられ、各々の光導波路62～65の一端が接続されている。なお、光導波路の本数としては、図示例の4本に限らず、5本以上であってもよい。もっとも、第二の実施の形態の場合と同様に、多数の光導波路が接続されていると、接続部分の面積が大きくなるために、回折の影響で光が広がってしまい、損失の原因になるので、4本程度がより好ましい。

【0118】

また、光偏向部66には、周期的な屈折率（誘電率）分布を基板上に形成することで作製されたフォトリック結晶構造67が構成されている。さらに、この光偏向部66は2本の対角線に従い直角2等辺三角形の4つの領域68～71に区分され、各々の領域68～71が各々個別に屈折率を変化させてその透過率を制御し得る屈折率変化部分とされている。

【0119】

このような構成において、例えば屈折率変化により領域70部分の反射率のみを変化させると、光導波路62と光偏向部66の結合部分でT字型分岐を構成することになり、光導波路62からの光を光導波路63, 65に向けて分岐が可能となる。

【0120】

このような形状は単一モード導波路では全反射を用いて、低損失な分岐が構成されている(IEEE Lightwave Technol. Vol. 17, p. 1682, 1999)。しかし、マルチモード導波路では高次モードで全反射による高効率の反射は困難であり、大きな損失の原因となる。この点、本実施の形態のように、反射鏡としてフォトリック結晶配列を用いることができれば、高次モードでも大きな反射率を得ることが可能となり、高効率の分岐が可能となる。

【0121】

〔第六の実施の形態〕

本発明の第六の実施の形態を図8及び図9に基づいて説明する。図8は、本実施の形態の光制御素子81の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子81は、基板（図示せず）上に3本の光導波路82～84を例えば互いに120度の角度を持

10

20

30

40

50

たせて形成し、これらの光導波路 8 2 ~ 8 4 の中心部に光結合部品としての光偏向部 8 5 が例えば正三角形状に形成されて設けられ、各々の光導波路 8 2 ~ 8 4 の一端が接続されている。ここに、各々の光導波路 8 2 ~ 8 4 の光偏向部 8 5 側の端部上には、その導波路幅にて 2 種類以上のフォトニック結晶構造 8 6 ~ 8 8、8 9 ~ 9 1 が各々独立して屈折率を変化させることが可能な屈折率可変部分として形成されている。

【0122】

即ち、フォトニック結晶構造 8 6 ~ 8 8 とフォトニック結晶構造 8 9 ~ 9 1 とは、異なる配列や周期構造で構成されている。つまり、フォトニック結晶構造 8 6 ~ 8 8 側は電氣的横波(Transverse Electric:TE)に対して反射率が変化可能である構造であり、フォトニック結晶構造 8 9 ~ 9 1 側は磁氣的横波(Transverse Magnetic:TM)に対して反射率が変化可能である構造である。

10

【0123】

なお、図示例では、光偏向部 1 5 に接続されている光導波路の本数は 3 本であるが、3 本に限らず、4 本以上の光導波路であってもよい。もっとも、光導波路 1 2、1 3、1 4 には幅があるので、多数接続すると、接続部分の面積が大きくなることに起因して回折により光が広がるために結合効率が低くなるので、4 本程度がより好ましい。

【0124】

このような構成において、フォトニック結晶配列は基本的には TE、TM に対する偏光依存性が大きい性質を持つ。光原子の配列によっては TE、TM 両偏光に対してバンドギャップを持たせることは可能であるが、その制約条件は狭く、周期構造の屈折率差が小さいと TE、TM 両偏光に対するバンドギャップが開く構造を設計することはできない。この点、本実施の形態では、無理に TE、TM 両偏光に対してバンドギャップを持つ構造をもたせるのではなく、片方の偏光に対してバンドギャップを持たせるようにしたものである。これにより、設計許容誤差が大きくなる。また、この反射率制御を片方の反射層にだけ行くと、偏光を分離できる構成となる。

20

【0125】

例えば、フォトニック結晶構造 8 6、8 9 には屈折率変化を与えず TE、TM 両偏光を透過させ、フォトニック結晶構造 9 1 に屈折率変化を与えることで TE 偏光を抑制し、フォトニック結晶構造 8 7 に屈折率変化を与えることで TM 偏光を抑制すると、光導波路 8 4 には TM 偏光が、光導波路 8 3 には TE 偏光の光信号が伝搬するように、TM 偏光と TE 偏光とを分離させることが可能である。よって、光制御素子 8 1 としての偏光依存性を解消でき、微小な領域でのボード内光インタコネクション用光スイッチを実現することが可能となる。

30

【0126】

ところで、図 9 に TE 偏光及び TM 偏光に対するフォトニックバンド図を示す。基板屈折率が 2.2、空気円孔の三角格子でフォトニック結晶が構成され、半径 r とピッチ a の比率は $r = 0.8a$ である。また、図 2 の場合と同様に平面波展開法で計算した。この構成であると、任意方向の波数ベクトルに対して TE 偏光ではフォトニックバンドギャップが存在しているが、TM 偏光に対しては特定方向の波数ベクトルのみにフォトニックバンドギャップが存在する。例えば、図 9 において、規格化周波数 0.4 に対応した光を入射すると TM 偏光の光は透過するが、TE 偏光の光は透過しないことになる。この現象を利用することで偏光分離素子を構成することができる。

40

【0127】

なお、本実施の形態においても、フォトニック結晶構造 8 7、9 0 の屈折率又はフォトニック結晶構造 8 8、9 1 の屈折率を同時に変化させることで、その透過率を変化させることもできる。

【0128】

〔第七の実施の形態〕

本発明の第七の実施の形態を図 10 ないし図 12 及び図 24 ないし図 27 に基づいて説明する。図 10 は、本実施の形態の光制御素子 101 の構成例を示す原理的な平面図であ

50

る。本実施の形態の光制御素子 101 は、基板（図示せず）上に 3 本の光導波路 102 ~ 104 を例えば互いに 120 度の角度を持たせて形成し、これらの光導波路 102 ~ 104 の中心部に光結合部品としての光偏向部 105 が例えば正三角形に形成されて設けられ、各々の光導波路 102 ~ 104 の一端が接続されている。ここに、各々の光導波路 102 ~ 104 の光偏向部 105 側の端部上には、その導波路幅にてフォトニック結晶構造 106 ~ 108 が各々独立して屈折率を変化させることが可能な屈折率可変部分として形成されている。

【0129】

ここに、本実施の形態のフォトニック結晶構造 106 ~ 108 は、例えば図 11 (a) に示すようなフォトニック結晶層とされ、光原子 109 で構成されたフォトニック結晶に欠陥部分 110 を組み込むことで共振器構造を形成している。フォトニック結晶の層数は期待する反射率によって異なる。欠陥部分 110 は点欠陥でもよく、欠陥の個数も特性によって選択できる。この欠陥部分 110 によりフォトニックバンドギャップ内で特定の波長を持つ光だけが、透過することが可能となる。

【0130】

本実施の形態のような構造によると、屈折率変化によるフォトニックバンドの移動を使う必要がなく、共振モードを用いるので、わずかなバンドの変化でスイッチングが可能となる。つまり、特定の波長に限定すれば、電気光学材料で屈折率変化が 0.01 以下の材料でも反射率制御（透過率制御）が可能となる。

【0131】

図 12 は 1 列欠損の波長に対する透過率の変化を示したシミュレーション結果を示す特性図である。本例は、円孔三角配列のフォトニック結晶であり、ピッチ $a = 400 \text{ nm}$ 、半径 $r = 320 \text{ nm}$ ($r = 0.80a$) である。また、基板の屈折率は 2.2 とし、円孔部分の屈折率を 1.0 とした。

【0132】

TE モードに対して、 $\Gamma-X$ 方向に波長 850 nm にピークを持つパルスを入射して、FDTD 計算によりシミュレーションした。また、屈折率を 1% 変化させたときの結果も同時に示す。屈折率 1% の変化で波長変化は 5 nm 程度である。消光比はフォトニック結晶層の層数によって変化し、6 層で消光比が 25 dB 以上取れる。つまり、2 μm の層厚で光の透過反射を制御できる。また、層数を増やすことで、消光比を増大できる。

【0133】

このような屈折率変化を起こす材料としては、二オブ酸リチウム、PZLT、セラミック、有機材料といった電気光学材料がある。また、半導体量子井戸を用いたキャリアプラズマ効果を用いても 1% の屈折率変化を起こすことは可能である。これらの欠陥部分は、均一で多重に設けることにより、透過率プロファイルを制御することができる。

【0134】

図 24 及び図 25 は、共振器部分の間隔を制御した複数のフォトニック結晶共振器を構成することで、共振ピークの平坦化を可能とする構成例を示す。図 24 は、3 つの線欠陥部分 401, 402, 403 を設け、中央の線欠陥部分 402 の間隔を他の線欠陥部分 401, 403 の 0.5 ~ 0.8 倍（図示例は、0.78 倍）にすることにより、図 11 における 1 つの線欠陥部分 110 からなる欠陥構造部分を複数の線欠陥を有する多重不均一線欠陥構造とし、これを LN 材料からなるフォトニック結晶共振器を構成したものである。図 25 は、図 24 に示す多重不均一線欠陥構造の透過率の変化を示したシミュレーション結果である。図 25 の例は、図 12 と同様に、円孔三角配列のフォトニック結晶であり、ピッチ $a = 400 \text{ nm}$ 、半径 $r = 320 \text{ nm}$ ($r = 0.80a$) であり、LN 材料の屈折率を 2.2 とし、円孔部分の屈折率を 1.0 とした。図 25 において、2 本の実線が多重不均一線欠陥構造であり、2 本の破線は比較として示す図 12 の場合の 1 つの線欠陥からなる欠陥構造部分の透過率である（右側の 2 本が $n = n_1$ 、左側の 2 本が $n = n_1 - \Delta n$ の場合を各々示している）。このとき、図 25 においては、最大透過率波長から 0.5 nm 波長がシフトしても、98% 以上の透過率を有することができ、また屈折率変化をさせ

10

20

30

40

50

た場合の消光比も30 dBとすることを示している。これに対して、1つの線欠陥部分110からなる共振器構造の場合は、最大透過率波長から0.5 m波長がシフトした場合には、透過率が50%以下となり、また、屈折率変化をさせた場合の消光比も25 dBである。このため、多重不均一線欠陥構造を有するフォトニック結晶による光制御特性は、1つの線欠陥部分からなる共振器構造の場合よりも、波長帯域を向上させ、かつ消光比を向上させており、その光制御特性を大きく改善した光制御素子を実現することができることが判る。

【0135】

また、図10では、光導波路は、102, 103, 104として光ファイバを光が伝播するように全反射型の光導波路としているが、この導波路自体にフォトニック結晶の一部に欠陥を導入した線欠陥導波路でもよい。このフォトニック結晶の線欠陥導波路を用いた場合の変形構成例を、図26に基づいて説明する。図26は、全反射型の光導波路の代わりに、フォトニック結晶による線欠陥導波路を用いた光制御素子1の構成例を示す原理的な平面図である。図26においては、屈折率変化部分を有する伝播方向と異なる方向の線欠陥による共振器構造501に接続された1列の欠陥からなる3つの線欠陥導波路502, 503, 504を有する。この共振器構造501は、電界印加、光照射などによりその屈折率を変化させることができるように構成されている。このとき、線欠陥導波路504から入射した伝播光は、共振器構造501の屈折率を変化させることにより、伝播光を線欠陥導波路503に直進させたり、線欠陥導波路502に反射させたりすることを選択的に行うことにより、高速の偏向器、経路変更器、変調器として用いることができる。

【0136】

また、図27に示すように1本の線欠陥導波路505の中央部に屈折率を変化させる部分を設けることにより小型変調器としてもよい。また、この場合の反射光をサーキュレータを用いて分離して経路変更器としてもよい。このときの屈折率変化部分の領域となる共振器構造506は、欠陥導波路505に対して鋭角となる角度を有する界面に限定されるわけではなく、直線欠陥導波路505の欠陥方向と垂直に設けてもよい。垂直の場合においては、伝播光の波面の分布と共振可能な波面とがより一致するので、透過率を向上することができる。

【0137】

なお、共振器部分の間隔は図11(b)に示すようにフォトニック結晶構造における欠陥部分110部分の間隔を変化させてもよいし、図11(c)に示すように欠陥部分110部分に近接する光原子109の大きさを変化させてもよい。

【0138】

これにより、例えば半導体レーザからの光源のわずかな波長振れ（発振波長の揺らぎ）によって、共振器部分での反射率の急激な変化によるスイッチング特性の劣化を抑制することが可能であり、波長に対する許容範囲を広げた光スイッチや光変調器を構成することが可能である。

【0139】

〔第八の実施の形態〕

本発明の第八の実施の形態を図13に基づいて説明する。図13は、本実施の形態の光制御素子111の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子111は、基板（図示せず）上に十字状の光導波路112～115が形成され、これらの光導波路112～115の交差部分を光結合部品としてフォトニック結晶構造116が一方の対角線方向に形成されている。このフォトニック結晶構造116は2列以上の欠陥部分117が存在するフォトニック結晶配列として形成されている。この場合、欠陥部分117を中心に対称配列とされ、少なくとも2層で同じ層数を有するフォトニック結晶配列とされ、2次元面内での多モード光導波路にも接続できる構造とされている。ここで、「列」とはフォトニック結晶に光が垂直に入射する場合に、入射面に面しているフォトニック結晶のことであり、「層」とは光の進行方向に配列しているフォトニック結晶を示す。つまり、図13に示す例では、フォトニック結晶構造116は対角線方向に45度傾いているが

、7層で4層目が欠陥部分117である構造であり、1層目は20列ある構造例を示している。

【0140】

このようなフォトリック結晶構造116は入出射側の光導波路112～115の配置に対して、傾けて配置されている。

【0141】

このような構成において、欠陥部分117による共振モードにより選択される特定の波長で入射した光信号は、屈折率変化前ではフォトリック結晶構造116を透過し、光導波路114へ伝搬していくが、屈折率変化により共振モードの波長が変化すると透過率が下がるため、フォトリック結晶構造116部分で反射され、光導波路115側に光路変更する。

10

【0142】

ここに、フォトリック結晶構造116は少なくとも2層のフォトリック結晶配列があればよいが、例えば、図示例のように欠陥部分117を斜めに形成した場合には、欠陥部分117に対して垂直方向の層数は、欠陥部分117の形成方法により異なる可能性があるものの、本実施の形態のように、欠陥部分117に対して垂直方向の層数を同じとすることにより、光の入出射面からのフォトリック結晶層数が均等となり、より効率よく光の経路を変更させることができる。

【0143】

また、フォトリック結晶構造116の層数としては、フォトリック結晶がミラーとして機能する層であり、この層数が多すぎると欠陥部分117まで光が到達せずに反射されてしまい、欠陥部分117を持たせることによる効果が期待できなくなってしまうが、シミュレーション結果によれば、6層のフォトリック結晶で挟むことで垂直入射では十分に欠陥部分117を持たせることによる効果が現れることが確認できたものである。また、1層増減させただけでも、共振器の性質が大きく変わってしまう。このような点を考察すると、フォトリック結晶構造116の層数としては、10層以上では欠陥部分117を持たせることによる効果が期待できない可能性があるので、10層以下とすることが望ましい。

20

【0144】

また、本実施の形態の場合、フォトリック結晶構造116の欠陥部分117の直線方向に直交する方向以外にフォトリック結晶を伝播して欠陥部分117に入射する伝播波の伝播波数ベクトル成分を有する構造とされており、2次元面内で形成されたフォトリック結晶構造116の欠陥部分117に対して傾いている波数を持つ光を入射しても、光の透過率を制御することができる。もっとも、この点は、欠陥部分117を有するフォトリック結晶構造116の場合への適用例として、入射光が単一波数である平面波が入射する場合の想定例に限らず、ビームのように波数分布を持つ入射光に対しても適用可能である。また、単に光の透過・反射を制御するだけでなく、入射側の光導波路から斜め方向に入射した光を、別の出射側の光導波路に経路変更させることも可能となる。

30

【0145】

なお、光が光導波路112側から光導波路114側へ伝搬するときには、光導波路115側に漏れないように、図6に示した場合のように光導波路115上にフォトリック結晶構造による反射体を設置しても良い。また、光導波路の配置角度は図13に示すように90度である必要はなく、90度以上の角度にすることも可能である。さらに、特定の波長のみを透過する構造であるので、波長フィルタとしても用いることができる。

40

【0146】

〔第九の実施の形態〕

本発明の第九の実施の形態を図14に基づいて説明する。本実施の形態は光制御デバイス121への適用例を示し、図14はこの光制御デバイス121の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御デバイス121は、基板（図示せず）上に2次元アレイ状に形成されたN×N本の光導波路122、123と、これらの光導波路122、1

50

2 3 の交差部分に各々配設されて対応する光導波路 1 2 2, 1 2 3 が接続された N^2 個の光結合部品 1 2 4 とを備える $N \times N$ のマトリックススイッチとして構成され、各々の光結合部品 1 2 4 が前述した各実施の形態の光制御素子 1, 1 1, 2 1, 4 1, 6 1, 8 1, 1 0 1 等の如くフォトニック結晶構造による屈折率可変部分を含む構成の光スイッチ構成とされている。

【0147】

従って、光結合部品 1 2 4 部分の屈折率を適宜変化させて光の進行方向を制御することにより、 $N \times N$ マトリックススイッチを構成して任意の光導波路に光路変換させて光を伝達させることができる。図示例では、薄く網掛けを施して示す光結合部品 1 2 4 部分を光が透過進行するように各部の光結合部品 1 2 4 部分の屈折率を変化させることで、矢印で示す方向に光が伝達される様子を示している。

10

【0148】

また、本実施の形態によれば、 $N \times N$ マトリックススイッチを極めて微小な領域に構成することが可能である。例えば、 $10 \mu\text{m}$ 幅の光導波路を $40 \mu\text{m}$ ピッチで配置したとき、 20×20 のマトリックススイッチを 1 mm 角に配置することが可能である。屈折率変化を電力印加により起こす構造であれば、電極を配置する必要があるが、 5 mm 角であれば、光スイッチを構成することができる。そして、この程度の大きさであれば、光スイッチを電子回路基板上に配置することができ、ボード内の光インタコネクション用光スイッチとして利用することもできる。

【0149】

20

〔第十の実施の形態〕

本発明の第十の実施の形態を図 1 5 に基づいて説明する。図 1 5 は、本実施の形態の光制御素子 1 3 1 の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子 1 3 1 は、基板（図示せず）上にフォトニック結晶構造 1 3 2 が形成され、このフォトニック結晶構造 1 3 2 の結晶配列中に複数本のフォトニック結晶線欠陥導波路 1 3 3 が交差するように形成されている。このようなフォトニック結晶線欠陥導波路 1 3 3 を交差させた光結合部分 1 3 4 で光が共振する現象が、フォトニック結晶特有の現象である。このような構造は、 Q 値が極めて高く取れる可能性があり、交差部分に光子を捕捉することが可能となる。そこで、交差部分を含む部分 1 3 5 を屈折率変化部分としてその屈折率を変化させることで、この共振状態を制御することが可能であり、光子の捕捉と開放とが可能となる光スイッチ、光信号遅延素子、光フィルタ等を構成することができる。この状態の変化は極めて敏感であるため、わずかな屈折率変化で状態が変化する。

30

【0150】

〔第十一の実施の形態〕

本発明の第十一の実施の形態を図 1 6 に基づいて説明する。図 1 6 は、本実施の形態の光制御素子 1 4 1 の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御素子 1 4 1 は、基板（図示せず）上にフォトニック結晶構造 1 4 2 が形成され、このフォトニック結晶構造 1 4 2 の結晶配列中に十字状のフォトニック結晶線欠陥導波路 1 4 3 が交差するように形成されている。このようなフォトニック結晶線欠陥導波路 1 4 3 により分離された 4 箇所のフォトニック結晶構造 1 4 2 部分は各々対角線に従い 2 つの領域に区分され、全体で 8 箇所の屈折率可変部分 1 4 4 ~ 1 5 1 として個別に屈折率を変化させることが可能とされている。

40

【0151】

本実施の形態の光制御素子 1 4 1 では、フォトニック結晶線欠陥導波路 1 4 3 を交差させた部分 1 5 2 で光が共振する現象を利用するものである。そして、屈折率可変部分 1 4 4 ~ 1 5 1 として分離し、これらの屈折率可変部分 1 4 4 ~ 1 5 1 に関して個別に屈折率を変化させることで、光のスイッチング方向を制御することが可能となる。このように共振状態を制御することが可能であり、光子の捕捉と開放とが可能となる光スイッチ、光信号遅延素子、光フィルタ等を構成することができる。

【0152】

50

〔第十二の実施の形態〕

本発明の第十二の実施の形態を図 17 に基づいて説明する。本実施の形態は光制御デバイス 161 への適用例を示し、図 17 はこの光制御デバイス 161 の構成例を示す原理的な平面図である。本実施の形態の光制御デバイス 161 は、基板（図示せず）全面にフォトニック結晶構造 162 が結晶配列として形成され、かつ、このフォトニック結晶構造 162 の結晶配列中に 2 次元で $N \times N \times N$ 本のフォトニック結晶線欠陥導波路 163 が縦方向、右斜め方向及び左斜め方向に形成されている。そして、これらのフォトニック結晶線欠陥導波路 163 が交差する光結合部分 164 が各々屈折率変化部分を含む光制御素子 131, 141 の場合と同様に構成されている。

【0153】

このような構成において、フォトニック結晶線欠陥導波路 163 の交差部分（光結合部分 164）が屈折率変化部分として構成されており、各々の屈折率を個別に可変制御すれば、共振状態が変化するので、マトリックススイッチ構成することができ、任意の光導波路に光路変換させることができる。

【0154】

即ち、前述の実施の形態を複数組み合わせることで構成されるマトリックススイッチ、光素子アレイ、光遅延素子アレイの例を示しており、例えば、屈折率を変化させなければ、交差部分を直進する光信号が、ある時点で交差部分の屈折率を変化させることにより、その交差部分に捕捉することが可能となる。さらに、その屈折率変化を交差部分の一部に与えることにより、光の透過しやすさが変化するので、本来進むべき方向と異なる方向に光を進めることができるようになると考えられる。このような現象を利用することにより、任意のフォトニック結晶線欠陥導波路 163 に光を伝達することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0155】

【図 1】本発明の第一の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2】（a）は屈折率 1.4 に対するバンド図、（b）は屈折率 1.6 に対するバンド図である。

【図 3】波長に対する透過率を示す特性図である。

【図 4】本発明の第二の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 5】本発明の第三の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 6】本発明の第四の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 7】本発明の第五の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 8】本発明の第六の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 9】TE 偏光及び TM 偏光に対するフォトニックバンド図である。

【図 10】本発明の第七の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 11】その欠陥構造例を示す平面図である。

【図 12】1 列欠損の波長に対する透過率の変化を示したシミュレーション結果を示す特性図である。

【図 13】本発明の第八の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 14】本発明の第九の実施の形態の光制御デバイスの構成例を示す原理的な平面図である。

【図 15】本発明の第十の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 16】本発明の第十一の実施の形態の光制御素子の構成例を示す原理的な平面図である。

【図 17】本発明の第十二の実施の形態の光制御デバイスの構成例を示す原理的な平面図である。

【図 18】従来例を示す平面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 9】本発明の第一の実施の形態の光制御素子の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 0】別の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 1】別の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 2】別の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 3】別の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 4】本発明の第七の実施の形態の光制御素子の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 5】1列欠損の波長に対する透過率の変化を比較例として多重不均一線欠陥構造の透過率のシミュレーション結果を示す特性図である。

10

【図 2 6】本発明の第七の実施の形態の光制御素子の別の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【図 2 7】別の変形構成例を示す原理的な平面図である。

【符号の説明】

【0 1 5 6】

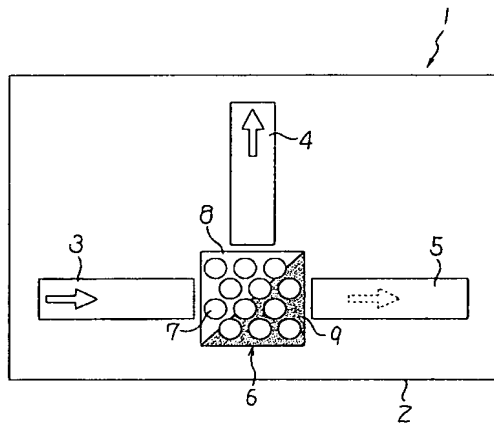
1	光制御素子	
2	基板	
3 ~ 5	光導波路	
6	光結合部品	
7	フォトリック結晶構造	20
8, 9	領域	
1 1	光制御素子	
1 2 ~ 1 4	光導波路	
1 5	光結合部品	
1 6 ~ 1 8	フォトリック結晶構造	
2 1	光制御素子	
2 2 ~ 2 5	光導波路	
2 6	光結合部品	
2 7	フォトリック結晶構造	
2 8 ~ 3 1	領域	30
4 1	光制御素子	
4 2 ~ 4 5	光導波路	
4 6	光結合部品	
4 7 ~ 5 1	フォトリック結晶構造	
5 2 ~ 5 5	領域	
6 1	光制御素子	
6 2 ~ 6 5	光導波路	
6 6	光結合部品	
6 7	フォトリック結晶構造	
6 8 ~ 7 1	領域	40
8 1	光制御素子	
8 2 ~ 8 4	光導波路	
8 5	光結合部品	
8 6 ~ 9 1	フォトリック結晶構造	
1 0 1	光制御素子	
1 0 2 ~ 1 0 4	光導波路	
1 0 5	光結合部品	
1 0 6 ~ 1 0 8	フォトリック結晶構造	
1 1 0	欠陥部分	
1 1 1	光制御素子	50

- 1 1 2 ~ 1 1 5 光導波路
 1 1 6 フォトニック結晶構造
 1 1 7 欠陥部分
 1 2 4 光結合部品
 1 3 1 光制御素子
 1 3 2 フォトニック結晶構造
 1 3 3 フォトニック結晶線欠陥導波路
 1 3 4 光結合部品
 1 3 5 部分
 1 4 1 光制御素子
 1 4 2 フォトニック結晶構造
 1 4 3 フォトニック結晶線欠陥導波路
 1 4 4 ~ 1 5 1 屈折率可変部分
 1 5 2 部分
 1 6 2 フォトニック結晶構造
 1 6 3 フォトニック結晶線欠陥導波路
 1 6 4 光結合部分
 3 0 1 ~ 3 0 6 線欠陥導波路
 3 0 7 領域
 3 0 8 線欠陥導波路
 4 0 1 ~ 4 0 3 欠陥部分
 5 0 2 ~ 5 0 5 線欠陥導波路

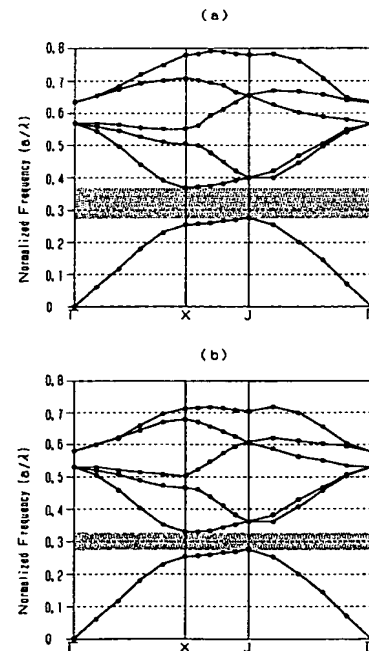
10

20

【図 1】

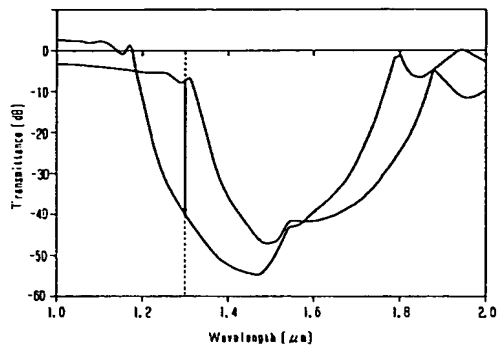


【図 2】

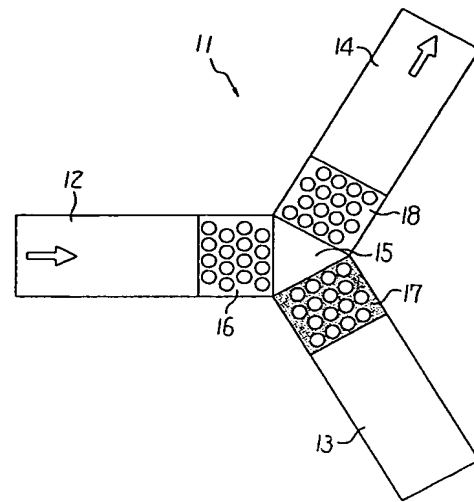


BEST AVAILABLE COPY

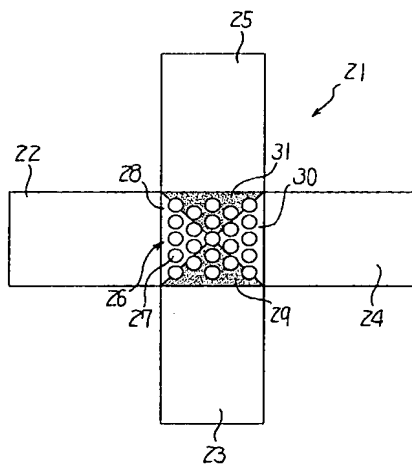
【図 3】



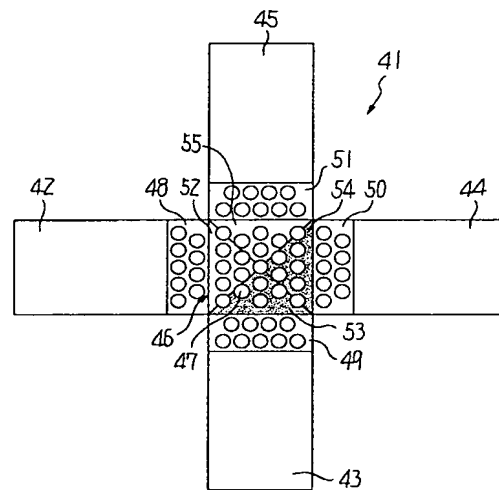
【図 4】



【図 5】

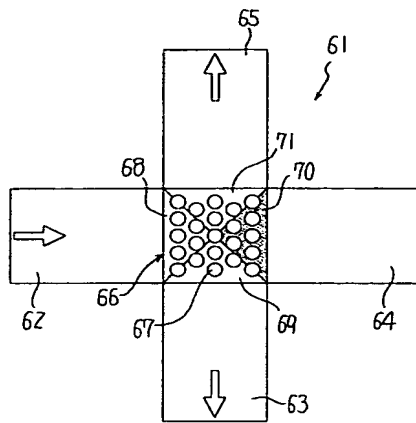


【図 6】

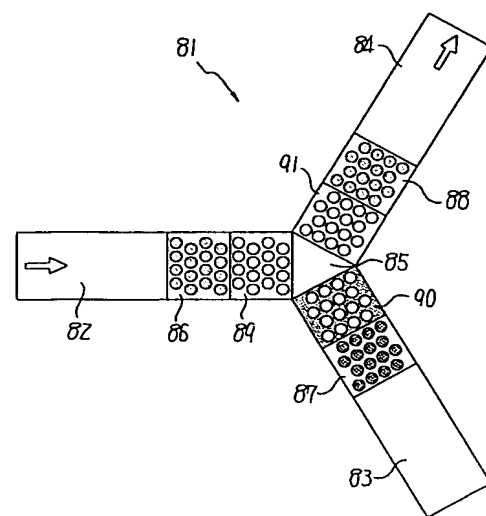


BEST AVAILABLE COPY

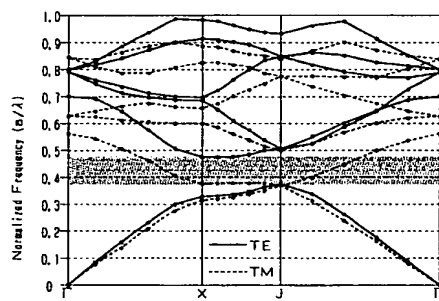
【 図 7 】



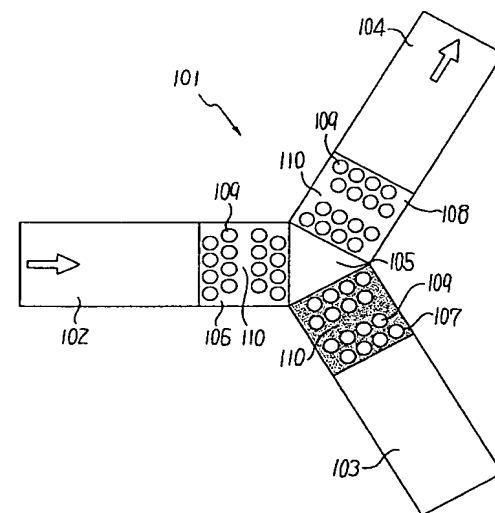
【 図 8 】



【 図 9 】

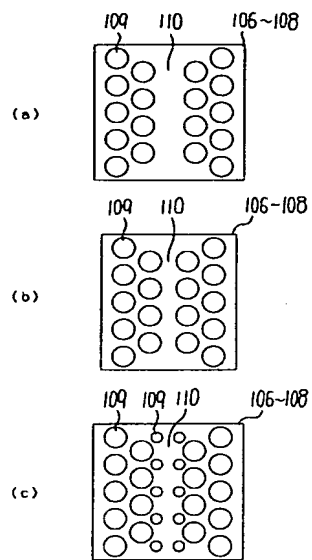


【 図 10 】

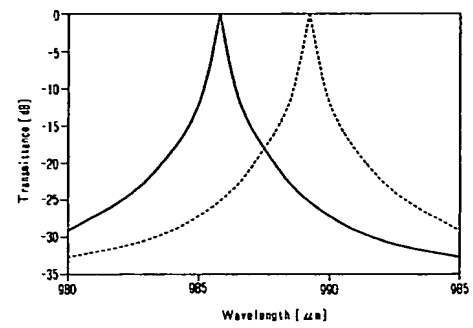


BEST AVAILABLE COPY

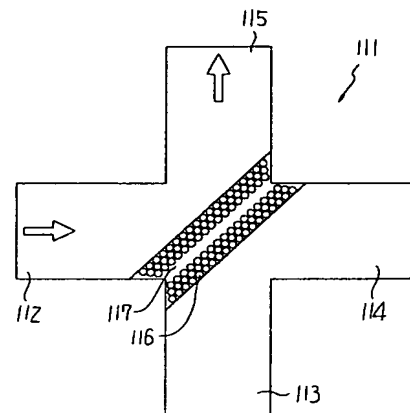
【図 1 1】



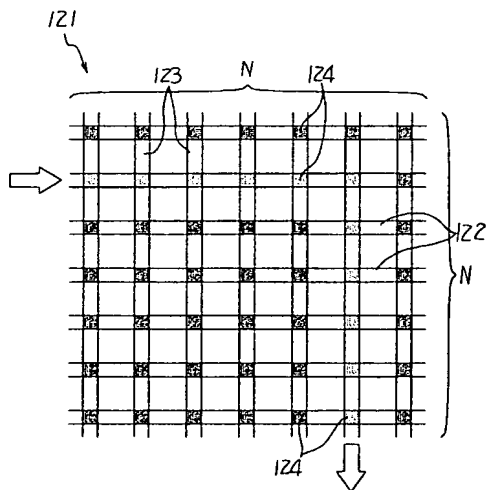
【図 1 2】



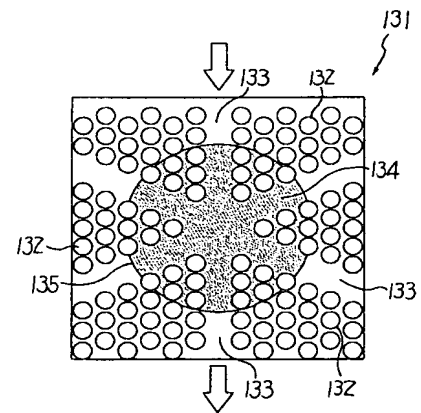
【図 1 3】



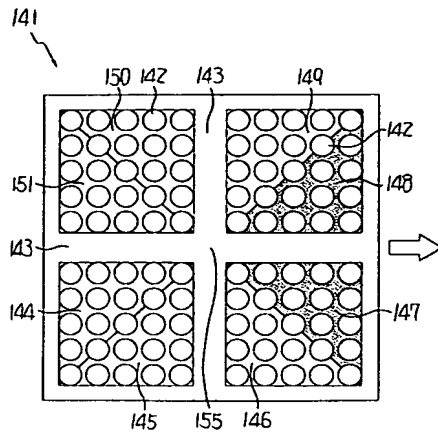
【図 1 4】



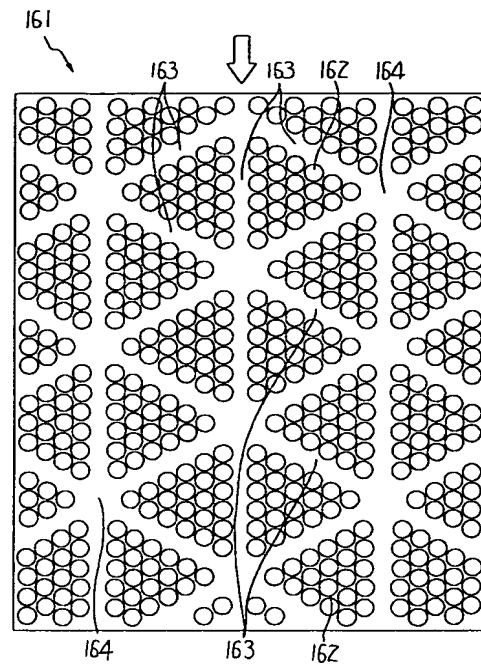
【図 1 5】



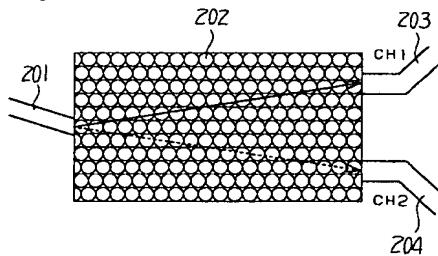
【図 16】



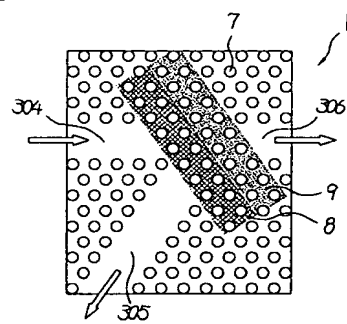
【図 17】



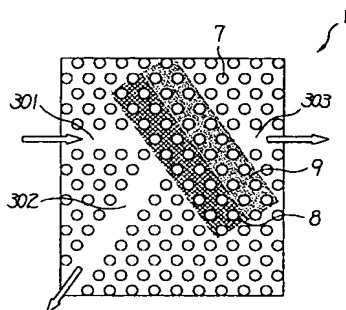
【図 18】



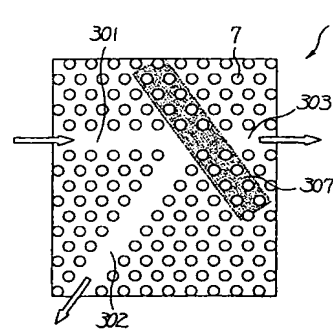
【図 20】



【図 19】

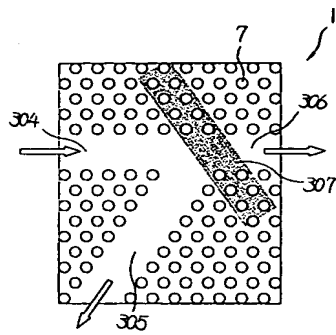


【図 21】

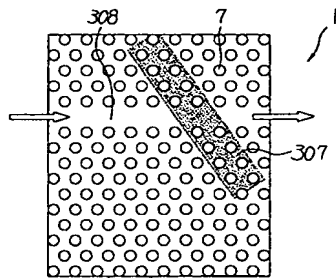


BEST AVAILABLE COPY

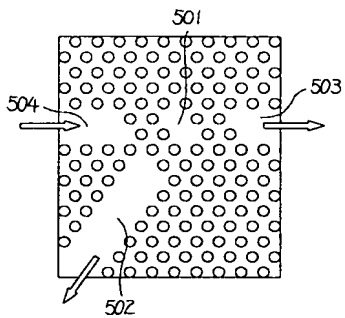
【図 2 2】



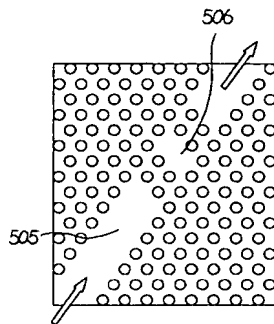
【図 2 3】



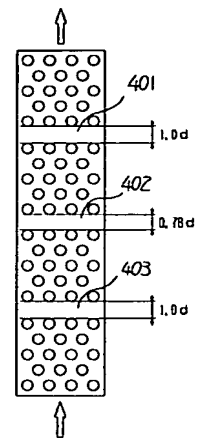
【図 2 6】



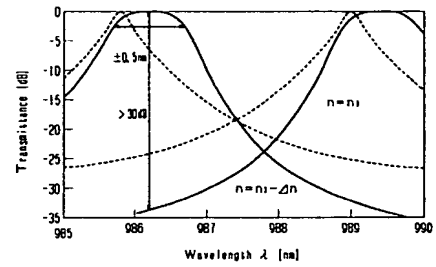
【図 2 7】



【図 2 4】



【図 2 5】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H047 KA02 LA09 RA08
2K002 AB04 AB05 BA01 BA06 BA08 BA11 BA13 DA06 DA08 EA16
HA02 HA09 HA11 HA16

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-334190

(43)Date of publication of application : 25.11.2004

(51)Int.Cl.

G02F 1/313

G02B 6/12

G02B 6/122

(21)Application number : 2004-121655

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 16.04.2004

(72)Inventor : SAKAI ATSUSHI
KATO IKUO

(30)Priority

Priority number : 2003113591

Priority date : 18.04.2003

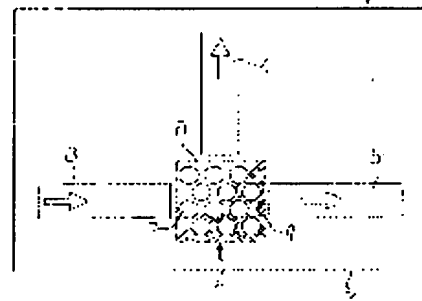
Priority country : JP

(54) ELEMENT AND DEVICE FOR OPTICAL CONTROL

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized, high-performance optical control element capable of realizing various optical path alterations by modulating the refractive index of a photonic crystal structure part.

SOLUTION: The optical control element is provided with a substrate 2, optical waveguides 3, 4, and 5 formed on the substrate 2, an optical coupling component 6 which is formed by the photonic crystal structure 7 on the substrate and to which the optical waveguides 3, 4, and 5 are connected, and a refractive index variation part which is provided in a portion of the photonic crystal structure 7 and partitions the optical coupling component 6 into at least two regions 8 and 9. Reflecting operation is displayed on the interface of the sectioned areas to at least one wave number by varying the refractive index of the refractive index variation part to change the travel direction of light, thereby realizing a path converter for optical signal with very small area whose width is nearly equal to the optical waveguide.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]

Substrate,

The optical coupling components formed of the photograph nick crystal structure on this substrate,
The refractive-index variable part which is prepared in said a part of photograph nick crystal structure, and
classifies said optical coupling component into at least two fields,

Preparation,

The optical controlling element to which present reflex action to to at least one wave number by the
interface of said field classified by changing the refractive index of said refractive-index variable part, and it
was made to change the travelling direction of light.

[Claim 2]

Substrate,

Optical waveguide formed on this substrate,

The optical coupling components to which it was formed of the photograph nick crystal structure on said
substrate, and said optical waveguide was connected,

The refractive-index variable part which is prepared in said a part of photograph nick crystal structure, and
classifies said optical coupling component into at least two fields,

Preparation,

The optical controlling element to which present reflex action to to at least one wave number by the
interface of said field classified by changing the refractive index of said refractive-index variable part, and it
was made to change the travelling direction of light.

[Claim 3]

Substrate,

Two or more optical waveguides formed on this substrate,

The optical coupling components to which it was formed on said substrate and said at least three optical
waveguides were connected,

The photograph nick crystal structure which was located in the edge by the side of said connected optical
coupling component, and was formed on said optical waveguide,

Preparation,

The optical controlling element to which it was made to change the permeability of the light which transmits
said optical waveguide corresponding to the photograph nick crystal structure concerned by changing the
refractive index by using said photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part.

[Claim 4]

Substrate,

Two or more optical waveguides formed on this substrate,

The optical coupling components to which it was formed by the photograph nick crystal structure on said
substrate at the polygon configuration, and said at least four optical waveguides were connected,

Two or more refractive-index variable parts classified in the field to which the diagonal line of said optical
coupling component of a polygon configuration is connected,

Preparation,

The optical controlling element it was made to deflect the travelling direction of the light from said optical
waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[Claim 5]

Substrate,

Two or more optical waveguides formed on this substrate,
The optical coupling components to which it was formed by the photograph nick crystal structure on said substrate at the polygon configuration, and said at least four optical waveguides were connected,
The photograph nick crystal structure which was located in the edge by the side of said connected optical coupling component, and was formed on said optical waveguide,
Two or more refractive-index variable parts classified in the field to which the diagonal line of said optical coupling component of the photograph nick crystal structure part formed on said optical waveguide and a polygon configuration is connected,
Preparation,
The optical controlling element it was made to deflect the travelling direction of the light from said optical waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[Claim 6]

Substrate,

Two or more optical waveguides formed on this substrate,
The optical coupling components to which it was formed by the photograph nick crystal structure on said substrate at the polygon configuration, and said at least four optical waveguides were connected,
Two or more refractive-index variable parts classified in the field to which the diagonal line of said optical coupling component of a polygon configuration is connected,
Preparation,
The optical controlling element it was made to branch the light from said optical waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[Claim 7]

Substrate,

Two or more optical waveguides formed on this substrate,
The optical coupling components to which said at least three optical waveguides were connected,
At least two kinds of photograph nick crystal structures including the structure which is located in the edge by the side of said connected optical coupling component, is formed on said optical waveguide, and reflects or penetrates an electric transverse wave, and the structure which reflects or penetrates a magnetic transverse wave,
The refractive-index variable part from which it is set as these photograph nick crystal structure parts, and the permeability of an electric transverse wave or a magnetic transverse wave changes,
Preparation,
The optical controlling element into which made it make an electric transverse wave and a magnetic transverse wave divide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[Claim 8]

Substrate,

Two or more optical waveguides formed on this substrate,
The optical coupling components to which said at least three optical waveguides were connected,
At least two kinds of photograph nick crystal structures including the structure which is located in the edge by the side of said connected optical coupling component, is formed on said optical waveguide, and reflects or penetrates an electric transverse wave, and the structure which reflects or penetrates a magnetic transverse wave,
The refractive-index variable part from which it is set as these photograph nick crystal structure parts, and the permeability of an electric transverse wave or a magnetic transverse wave changes,
Preparation,
The optical controlling element to which it was made to change the permeability of the light which transmits said optical waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[Claim 9]

Said photograph nick crystal structure is the optical controlling element of claim 2 thru/or the any 1 publication of 8 which has a defective part.

[Claim 10]

Said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide is the optical controlling element according to claim 9 to which become from a two-layer photograph nick crystalline array at least, and it was made to change a refractive index between the layers which have said defective part, or to the whole

photograph nick crystal structure part.

[Claim 11]

Said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide is the optical controlling element according to claim 9 to which become from the photograph nick crystalline array of the same two-layer number of layers at least, and it was made to change a refractive index between the layers which have said defective part, or to the whole photograph nick crystal structure part.

[Claim 12]

The optical controlling element according to claim 10 or 11 whose photograph nick crystalline array of said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide is ten or less layers.

[Claim 13]

Claim 10 which has the propagation wave propagation wave number vector component which spreads a photograph nick crystal in addition to the direction which intersects perpendicularly in the direction of a straight line of said defective part of said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide, and carries out incidence to said defective part thru/or the optical controlling element of any 1 publication of 12.

[Claim 14]

Said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide is the optical controlling element of claims 3 and 9 thru/or the any 1 publication of 13 which has two or more defective parts from which magnitude differs.

[Claim 15]

The substrate which has the photograph nick crystal structure,

Two or more photograph nick crystal line defect waveguides formed into said photograph nick crystal structure on said substrate,

The refractive-index variable part set as the optical coupling part which such photograph nick crystal line defect waveguides intersected,

Preparation,

The optical controlling element it was made to make the resonance state of said optical coupling part control by changing the refractive index of said refractive-index variable part.

[Claim 16]

The substrate which has the photograph nick crystal structure,

Two or more photograph nick crystal line defect waveguides formed into said photograph nick crystal structure on said substrate,

The refractive-index variable part respectively set as the photograph nick crystal part separated by such photograph nick crystal line defect waveguides,

Preparation,

The optical controlling element to which it was made to change independently the refractive index of said these refractive-index variable parts.

[Claim 17]

Substrate,

Optical waveguide of the NxN book which was made to intersect two-dimensional and was formed on this substrate,

The optical coupling components of two N to which the optical waveguide which is respectively arranged in a part for the intersection of such optical waveguides, and corresponds was connected,

Preparation,

The optical control device currently formed as claim 1 in which the circumference of said optical coupling components part contains a refractive-index variable part respectively thru/or an optical controlling element of any 1 publication of 14.

[Claim 18]

The substrate which has the photograph nick crystal structure,

Photograph nick crystal line defect waveguide of the NxNxN book which was made to intersect two-dimensional and was formed into said photograph nick crystal structure on said substrate,

Preparation,

The optical control device with which the optical coupling part which such photograph nick crystal line defect waveguides intersected contains a refractive-index variable part respectively and which is formed as an optical controlling element according to claim 15 or 16.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[Field of the Invention]

[0001]

This invention uses a photograph nick crystal structure, and relates to an optical controlling element and an optical control device applicable to an optical switch, an optical intensity modulator, etc.

[Background of the Invention]

[0002]

The photograph nick crystal is overly expected as a minute optical integrated circuit or a new functional light corpuscle child at forming the photograph nick band gap which is the forbidden band of a photon according to the dielectric period structure of wavelength extent, and the point which shows unique effectiveness with strong dispersibility. Optical controlling elements with a very minute optical path modification function, such as an optical switch and an optical intensity modulator, can consist of using these properties.

[0003]

As a path converter of light, various configurations are proposed with the application and ingredient. For example, he is trying to make the path of light change by moving the optical-path modification liquid which has a different refractive index from it in the working fluid which the refractive index adjusted according to the patent reference 1.

[0004]

Moreover, he moves a mirror and is trying to make the path of light change by inserting the mirror pinched by the electromagnet between optical waveguides according to the patent reference 2.

[0005]

Furthermore, in the optical communication of a basic system, the system using a reflecting mirror by the Micro Electro-mechanical system:MEMS technique is used.

[0006]

However, it is difficult to make switching speed quick by these approaches, since the mechanical body migration by the heat type pressure generator or the electromagnet is used, although there is an advantage that a configuration is easy and a large extinction ratio can be taken.

[0007]

As this point and a high-speed optical switch, the directional coupler mold or Mach TSUENDA mold which consisted of lithium niobate is common, and although commercial production is carried out, since component length is as large as several cm, it is difficult [it] to use for the optical switch for optical INTAKONEKUSHON in the board on which the semiconductor chip has been arranged.

[0008]

The method of using the strong dispersibility which the photograph nick crystal called the super prism effectiveness (10096 58 PR B, vol. p. 1998) has as an optical path converter using a photograph nick crystal on the other hand is proposed. As for the optical-path converter using the super prism effectiveness, the example of a configuration is shown by the patent reference 3.

[0009]

Drawing 18 shows one of the examples of a configuration proposed with the patent reference 3, incidence is aslant carried out to the proper shaft of the photograph nick crystal 202 through the waveguide 201 before current impregnation, and the locus of the light which spreads under a photograph nick crystal is taken as the direction shown by the continuous-line arrow head among drawing with the distributed property of the photograph nick crystal 202. That is, light is outputted to the waveguide 203 of a channel 1 (CH1). The

locus of propagation light changes in the direction shown by the broken-line arrow head among drawing, and light is outputted to the waveguide 204 of a channel 2 (CH2) because the refractive index of the medium which constitutes the photograph nick crystal 202 will change and angle of refraction will change on the other hand according to it, if current impregnation is performed. That is, in order that a deflection angle may change a lot according to the super prism effectiveness, it is the method with which light is switched to the outgoing radiation side waveguide 204.

[0010]

[Patent reference 1] JP,2002-221680,A official report

[Patent reference 2] JP,2002-122798,A official report

[Patent reference 3] JP,2002-303836,A official report

[Description of the Invention]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

[0011]

However, if the super prism effectiveness by the photograph nick crystal is [whenever / incident angle] very sensitive to the wavelength of light and wavelength changes, a deflection angle will change a lot. Moreover, since it is necessary to fix the incident angle over a photograph nick crystal and reflection by the end face also exists strongly, practical application has many points which must be solved.

[0012]

Moreover, a photograph nick crystal is built into the interferometer together put with Mach TSUENDA or a directional coupler, although there is also a method which is going to realize the modulation and optical-path modification of light, there is almost nothing as which concrete construction was considered in detail, and there is no component put in practical use.

[0013]

The purpose of this invention is offering the small and highly efficient optical controlling element and the optical control device which can realize various kinds of optical-path modification in modulating the refractive index of a photograph nick crystal structure part.

[0014]

It is offering the optical controlling element in which the actuation with magnitude comparable as optical waveguide width of face which it was detailed, and the extinction ratio's was large, and was stabilized at high speed is more specifically possible.

[0015]

Moreover, it is offering the optical controlling element to which the tolerance of the design produced from the polarization property of a photograph nick crystal is expandable.

[0016]

Moreover, it is consisting of very minute fields and offering the optical controlling element in which prehension and disconnection of a photon are possible.

[Means for Solving the Problem]

[0017]

The optical coupling components with which the optical controlling element of invention according to claim 1 was formed of the photograph nick crystal structure on a substrate and this substrate, The refractive-index variable part which is prepared in said a part of photograph nick crystal structure, and classifies said optical coupling component into at least two fields, Reflex action is presented to at least one wave number by the interface of said field classified by changing the refractive index of a preparation and said refractive-index variable part, and it was made to change the travelling direction of light.

[0018]

Therefore, since mechanical body migration is not used in order to change the travelling direction of light, optical controlling elements, such as an optical path converter by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed, can be constituted. Moreover, optical controlling elements, such as an optical switch, can be constituted, without taking the interference system of a complicated light, and the configuration of an optical circuit, since reflex action is used for change of the travelling direction of light.

[0019]

The optical waveguide by which the optical controlling element of invention according to claim 2 was formed on a substrate and this substrate, The optical coupling components to which it was formed of the photograph nick crystal structure on said substrate, and said optical waveguide was connected, The refractive-index variable part which is prepared in said a part of photograph nick crystal structure, and classifies said optical coupling component into at least two fields, Reflex action is presented to at least one

wave number by the interface of said field classified by changing the refractive index of a preparation and said refractive-index variable part, and it was made to change the travelling direction of light.

[0020]

Therefore, in addition to invention according to claim 1, the path converter of a lightwave signal is realizable in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide. Furthermore, since it can be efficient and the light on a beam with an include-angle component can be reflected by using the band gap of a photograph nick crystal, it is not necessary to be the waveguide of a single mode, and it becomes possible to constitute optical waveguide also from waveguide in the many modes.

[0021]

Two or more optical waveguides by which the optical controlling element of invention according to claim 3 was formed on a substrate and this substrate, The optical coupling components to which it was formed on said substrate and said at least three optical waveguides were connected, The photograph nick crystal structure which was located in the edge by the side of said connected optical coupling component, and was formed on said optical waveguide, It was made to change the permeability of the light which transmits said optical waveguide corresponding to the photograph nick crystal structure concerned by changing the refractive index by using a preparation and said photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part.

[0022]

Therefore, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide by changing the permeability of the light which the refractive index is changed by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part, and transmits the optical waveguide corresponding to the photograph nick crystal structure concerned is possible can be offered.

[0023]

Two or more optical waveguides by which the optical controlling element of invention according to claim 4 was formed on a substrate and this substrate, The optical coupling components to which it was formed by the photograph nick crystal structure on said substrate at the polygon configuration, and said at least four optical waveguides were connected, It has two or more refractive-index variable parts classified in the field to which the diagonal line of said optical coupling component of a polygon configuration is connected, and was made to deflect the travelling direction of the light from said optical waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[0024]

Therefore, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide by changing the refractive index by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part, and deflecting the travelling direction of the light from optical waveguide is possible can be offered.

[0025]

Two or more optical waveguides by which the optical controlling element of invention according to claim 5 was formed on a substrate and this substrate, The optical coupling components to which it was formed by the photograph nick crystal structure on said substrate at the polygon configuration, and said at least four optical waveguides were connected, The photograph nick crystal structure which was located in the edge by the side of said connected optical coupling component, and was formed on said optical waveguide, Two or more refractive-index variable parts classified in the field to which the diagonal line of said optical coupling component of the photograph nick crystal structure part formed on said optical waveguide and a polygon configuration is connected, It was made to deflect the travelling direction of the light from said optical waveguide by changing independently the refractive index of a preparation and said refractive-index variable part.

[0026]

Therefore, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide by changing the refractive index independently by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part, and deflecting the travelling direction of the light from optical waveguide is possible can be offered.

[0027]

Two or more optical waveguides by which the optical controlling element of invention according to claim 6 was formed on a substrate and this substrate, The optical coupling components to which it was formed by

the photograph nick crystal structure on said substrate at the polygon configuration, and said at least four optical waveguides were connected, It has two or more refractive-index variable parts classified in the field to which the diagonal line of said optical coupling component of a polygon configuration is connected, and was made to branch the light from said optical waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[0028]

Therefore, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide by changing the refractive index independently by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part, and branching the light from optical waveguide is possible can be offered.

[0029]

Two or more optical waveguides by which the optical controlling element of invention according to claim 7 was formed on a substrate and this substrate, The structure which is located in the edge by the side of said optical coupling component connected with the optical coupling components to which said at least three optical waveguides were connected, is formed on said optical waveguide, and reflects or penetrates an electric transverse wave, At least two kinds of photograph nick crystal structures including the structure which reflects or penetrates a magnetic transverse wave, It has the refractive-index variable part from which it is set as these photograph nick crystal structure parts, and the permeability of an electric transverse wave or a magnetic transverse wave changes, and was made to make an electric transverse wave and a magnetic transverse wave separate by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[0030]

Therefore, since it was made to make an electric transverse wave and a magnetic transverse wave separate by giving at least two kinds of photograph nick crystal structures, considering as a refractive-index variable part, and changing independently the refractive index of the refractive-index variable part on optical waveguide, the polarization dependency of the optical controlling element concerned produced from the polarization property of a photograph nick crystal can be canceled, and the tolerance of the design produced from a polarization property can be expanded.

[0031]

Two or more optical waveguides by which the optical controlling element of invention according to claim 8 was formed on a substrate and this substrate, The structure which is located in the edge by the side of said optical coupling component connected with the optical coupling components to which said at least three optical waveguides were connected, is formed on said optical waveguide, and reflects or penetrates an electric transverse wave, At least two kinds of photograph nick crystal structures including the structure which reflects or penetrates a magnetic transverse wave, It has the refractive-index variable part from which it is set as these photograph nick crystal structure parts, and the permeability of an electric transverse wave or a magnetic transverse wave changes, and was made to change the permeability of the light which transmits said optical waveguide by changing independently the refractive index of said refractive-index variable part.

[0032]

Therefore, since it was made to change the permeability of the light which transmits optical waveguide by giving at least two kinds of photograph nick crystal structures, considering as a refractive-index variable part, and changing independently the refractive index of the refractive-index variable part on optical waveguide, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide is possible can be offered.

[0033]

As for said photograph nick crystal structure, invention according to claim 9 has a defective part in claim 2 thru/or the optical controlling element of any 1 publication of 8.

[0034]

It becomes possible to follow, for example, to control the permeability of a lightwave signal by 0.01 or less minute refractive-index change.

[0035]

Said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide consists of a two-layer photograph nick crystalline array at least, and it was made for invention according to claim 10 to change a refractive index in an optical controlling element according to claim 9 between the layers which have said defective

part, or to the whole photograph nick crystal structure part.

[0036]

Therefore, in addition to invention according to claim 9, refractive-index change of only a defective part can be produced in addition to the approach of producing the whole photograph nick crystal or refractive-index change of the whole specific region.

[0037]

Said photograph nick crystal structure by which invention according to claim 11 was formed on said optical waveguide in the optical controlling element according to claim 9 consists of a photograph nick crystalline array of the same two-layer number of layers at least, and it was made to change a refractive index between the layers which have said defective part, or to the whole photograph nick crystal structure part.

[0038]

Therefore, by making the same the number of layers from a defective part in addition to invention according to claim 9, since the photograph nick crystal number of layers from the close outgoing radiation side of light becomes equal, the path of light can be changed more efficiently.

[0039]

The photograph nick crystalline array of said photograph nick crystal structure by which invention according to claim 12 was formed on said optical waveguide in the optical controlling element according to claim 10 or 11 is ten or less layers.

[0040]

Therefore, light can be deflected by refractive-index change, changing the resonator property in a defective part and maintaining the permeability of light by controlling the number of layers of the photograph nick crystal whose defective part is pinched in addition to invention according to claim 10 or 11.

[0041]

Invention according to claim 13 has the propagation wave propagation wave number vector component which spreads a photograph nick crystal in addition to the direction which intersects perpendicularly in the direction of a straight line of said defective part of said photograph nick crystal structure formed on said optical waveguide, and carries out incidence to said defective part in claim 10 thru/or the optical controlling element of any 1 publication of 12.

[0042]

Therefore, the permeability of light is controllable even if it carries out incidence of the light with the wave number which leans to the defective part of the photograph nick crystal structure formed in the two-dimensional side in addition to invention claim 10 thru/or given in 12.

[0043]

Said photograph nick crystal structure by which invention according to claim 14 was formed on said optical waveguide in claims 3 and 9 thru/or the optical controlling element of any 1 publication of 13 has two or more defective parts from which magnitude differs.

[0044]

Therefore, it becomes possible to constitute optical controlling elements which it also became possible to extend equivalent wavelength bandwidth, for example, extended the tolerance to fluctuation of the oscillation wavelength of semiconductor laser, such as an optical switch and an optical modulator.

[0045]

The optical controlling element of invention according to claim 15 is equipped with the substrate which has the photograph nick crystal structure, two or more photograph nick crystal line defect waveguides formed into said photograph nick crystal structure on said substrate, and the refractive-index variable part set as the optical coupling part which such photograph nick crystal line defect waveguides intersected, and it was made to make the resonance state of said optical coupling part control by changing the refractive index of said refractive-index variable part.

[0046]

Therefore, optical controlling elements, such as an optical switch whose prehension and disconnection of a lightwave signal are attained, a lightwave signal delay element, and an optical filter, can consist of changing the refractive index of the refractive-index variable part set as the optical coupling part which photograph nick crystal line defect waveguide intersected by making the resonance state of an optical coupling part control.

[0047]

The optical controlling element of invention according to claim 16 is equipped with the substrate which has the photograph nick crystal structure, two or more photograph nick crystal line defect waveguides formed

into said photograph nick crystal structure on said substrate, and the refractive-index variable part respectively set as the photograph nick crystal part separated by such photograph nick crystal line defect waveguides, and it was made to change independently the refractive index of said these refractive-index variable parts.

[0048]

Therefore, optical controlling elements, such as an optical switch whose prehension and disconnection of a lightwave signal are attained, a lightwave signal delay element, and an optical filter, can be constituted by changing independently the refractive index of the refractive-index variable part respectively set as the photograph nick crystal part separated by photograph nick crystal line defect waveguide.

[0049]

The optical waveguide of the NxN book which the optical control device of invention according to claim 17 was made to cross in two-dimensional on a substrate and this substrate, and was formed, It has the optical coupling components of two N to which the optical waveguide which is respectively arranged in a part for the intersection of such optical waveguides, and corresponds was connected, and is formed as claim 1 in which the circumference of said optical coupling components part contains a refractive-index variable part respectively thru/or an optical controlling element of any 1 publication of 14.

[0050]

therefore, NxN -- a matrix switch -- it becomes possible to constitute an optical control device to a very minute field, and on an electronic-circuitry substrate, arrangement becomes possible and, therefore, it can use as an optical switch for optical INTAKONEKUSHON in a board.

[0051]

The optical control device of invention according to claim 18 is equipped with the substrate which has the photograph nick crystal structure, and the photograph nick crystal line defect waveguide of the NxNxN book which was made to intersect two-dimensional and was formed into said photograph nick crystal structure on said substrate, and is formed as an optical controlling element according to claim 15 or 16 in which the optical coupling part which such photograph nick crystal line defect waveguides intersected contains a refractive-index variable part respectively.

[0052]

therefore, it is based on the photograph nick crystal line defect waveguide of the NxNxN book which was made to intersect two-dimensional and was formed -- a matrix switch -- it becomes possible to constitute an optical control device to a very minute field, and on an electronic-circuitry substrate, arrangement becomes possible and, therefore, it can use as an optical switch for optical INTAKONEKUSHON in a board.

[Effect of the Invention]

[0053]

The optical coupling components which were formed of the photograph nick crystal structure on a substrate and this substrate according to the optical controlling element of invention according to claim 1, The refractive-index variable part which is prepared in said a part of photograph nick crystal structure, and classifies said optical coupling component into at least two fields, Since reflex action is presented to at least one wave number by the interface of said field classified by changing the refractive index of a preparation and said refractive-index variable part and it was made to change the travelling direction of light Since mechanical body migration is not used in order to change the travelling direction of light, optical controlling elements, such as an optical path converter by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed, could be constituted and reflex action is used for change of the travelling direction of light Optical controlling elements, such as an optical switch, can be constituted without taking the interference system of a complicated light, and the configuration of an optical circuit.

[0054]

According to the optical controlling element of invention according to claim 2, in addition to invention according to claim 1, the path converter of a lightwave signal is realizable in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide, since it can be efficient and the light on a beam with an include-angle component can be further reflected by using the band gap of a photograph nick crystal, it is not necessary to be the waveguide of a single mode, and optical waveguide can also consist of waveguides in the many modes.

[0055]

Since it was made to change the permeability of the light which the refractive index is changed by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part, and transmits the optical waveguide corresponding to the photograph nick crystal structure concerned according to the optical controlling

element of invention according to claim 3, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide is possible can be offered.

[0056]

The optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide by according to the optical controlling element of invention according to claim 4 changing the refractive index by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part, and deflecting the travelling direction of the light from optical waveguide is possible can be offered.

[0057]

Since the refractive index is changed independently by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part and it was made to deflect the travelling direction of the light from optical waveguide according to the optical controlling element of invention according to claim 5, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide is possible can be offered.

[0058]

Since the refractive index is changed independently by using a photograph nick crystal structure part as a refractive-index change part and it was made to branch the light from optical waveguide according to the optical controlling element of invention according to claim 6, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide is possible can be offered.

[0059]

According to the optical controlling element of invention according to claim 7, on optical waveguide, give at least two kinds of photograph nick crystal structures, and it considers as a refractive-index variable part. Since it was made to make an electric transverse wave and a magnetic transverse wave separate by changing independently the refractive index of the refractive-index variable part The polarization dependency of the optical controlling element concerned produced from the polarization property of a photograph nick crystal can be canceled, and the tolerance of the design produced from a polarization property can be expanded.

[0060]

According to the optical controlling element of invention according to claim 8, on optical waveguide, give at least two kinds of photograph nick crystal structures, and it considers as a refractive-index variable part. Since it was made to change the permeability of the light which transmits optical waveguide by changing independently the refractive index of the refractive-index variable part, the optical controlling element in which the actuation by which whose extinction ratio was large and was stabilized at high speed in a detailed area with width of face comparable as optical waveguide is possible can be offered.

[0061]

According to invention according to claim 9, in claim 2 thru/or the optical controlling element of any 1 publication of 8, since the photograph nick crystal structure has a defective part, it can control the permeability of a lightwave signal by 0.01 or less minute refractive-index change, for example.

[0062]

According to invention according to claim 10, to invention according to claim 9 in addition, in addition to the approach of producing the whole photograph nick crystal or refractive-index change of the whole specific region Can produce refractive-index change of only a defective part, and therefore, since the part to which a refractive index is changed may be small [in changing a refractive index with electrical-potential-difference impression, while it can make a production electrode surface product small, when power consumption can be made small and it changes a refractive index with optical exposures] By making the optical exposure part small, a need optical output and power consumption can be reduced greatly.

[0063]

According to invention according to claim 11, by making the same the number of layers from a defective part in addition to invention according to claim 9, since the photograph nick crystal number of layers from the close outgoing radiation side of light becomes equal, the path of light can be changed more efficiently.

[0064]

According to invention according to claim 12, light can be deflected by refractive-index change, changing the resonator property in a defective part and maintaining the permeability of light by controlling the number of layers of the photograph nick crystal whose defective part is pinched in addition to invention according to claim 10 or 11.

[0065]

According to invention according to claim 13, even if it carries out incidence of the light with the wave number which leans to the defective part of the photograph nick crystal structure formed in the two-dimensional side in addition to invention claim 10 thru/or given in 12, the permeability of light can be controlled and control of the deviation light to the light which carried out incidence aslant can be enabled.

[0066]

According to invention according to claim 14, in claims 3 and 9 thru/or the optical controlling element of any 1 publication of 13, optical controlling elements which it also became possible to extend equivalent wavelength bandwidth, for example, extended the tolerance to fluctuation of the oscillation wavelength of semiconductor laser, such as an optical switch and an optical modulator, can be constituted.

[0067]

According to the optical controlling element of invention according to claim 15, optical controlling elements, such as an optical switch whose prehension and disconnection of a lightwave signal are attained, a lightwave signal delay element, and an optical filter, can consist of changing the refractive index of the refractive-index variable part set as the optical coupling part which photograph nick crystal line defect waveguide intersected by making the resonance state of an optical coupling part control.

[0068]

According to the optical controlling element of invention according to claim 16, optical controlling elements, such as an optical switch whose prehension and disconnection of a lightwave signal are attained, a lightwave signal delay element, and an optical filter, can be constituted by changing independently the refractive index of the refractive-index variable part respectively set as the photograph nick crystal part separated by photograph nick crystal line defect waveguide.

[0069]

according to the optical control device of invention according to claim 17 -- NxN -- a matrix switch -- it becomes possible to constitute an optical control device to a very minute field, and on an electronic-circuitry substrate, arrangement becomes possible and, therefore, it can use as an optical switch for optical INTAKONEKUSHON in a board.

[0070]

according to the optical control device of invention according to claim 18, it is based on the photograph nick crystal line defect waveguide of the NxNxN book which was made to intersect two-dimensional and was formed -- a matrix switch -- it becomes possible to constitute an optical control device to a very minute field, and on an electronic-circuitry substrate, arrangement becomes possible and, therefore, it can use as an optical switch for optical INTAKONEKUSHON in a board.

[Best Mode of Carrying Out the Invention]

[0071]

Several gestalten of operation of this invention are listed to below, and are explained to it.

[0072]

[The gestalt of the first operation]

The gestalt of operation of the first of this invention is explained based on drawing 1 thru/or drawing 3 and drawing 19 thru/or drawing 23. Drawing 1 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 1 of the gestalt of this operation. First, a substrate 2 is formed, three optical waveguides 3, 4, and 5 are formed on this substrate 2, and such optical waveguides 3, 4, and 5 are connected by the optical deflection section 6 as optical coupling components. Here, optical waveguide 3 is made into an incidence side, and rectangular arrangement of the optical waveguide 4 by the side of outgoing radiation and the five comrades is carried out. But not only three but four or more are sufficient, and space propagation is [optical waveguide does not necessarily need to be connected to the incidence and outgoing radiation side to the optical deflection section 6, and] sufficient as the number of optical waveguide.

[0073]

The photograph nick crystal structure 7 produced by forming periodic refractive-index (dielectric constant) distribution on a substrate 2 is constituted by the optical deflection section 6. The photograph nick crystal structure 7 is adjusting periodic structure, and can give the photograph nick band gap which is the prohibition object of a photon. Photograph nick crystal characteristics are determined by a substrate 2, the wavelength of the difference of the Mitsuhara child's dielectric constant, its arrangement, and light, the Mitsuhara child's magnitude, the distance between the Mitsuhara children, etc. Therefore, if these either is changed, the property of the photograph nick crystal structure 7 can be changed. If the refractive index of the Mitsuhara child or a substrate 2 is changed to the photograph nick crystal structure 7 in which a

photograph nick band gap exists especially, it will become possible to change a photograph nick band.

[0074]

Therefore, after refractive-index change can change to the reflector of light that it is the transparency object of light before refractive-index change to the wavelength of a certain range by changing the refractive index of the photograph nick crystal structure 7, and changing the permeability of the photograph nick crystal structure 7.

[0075]

In order to use this phenomenon, with the gestalt of this operation, the photograph nick crystal structure 7 of the optical deflection section 6 has the composition that a refractive index changes. The electro-optical effect, a thermooptic effect, the carrier plasma effectiveness of a semi-conductor thin film, the optical Kerr effect, etc. are used for change of such a refractive index. Although such physical development changes with ingredients constituted, the photograph nick crystal structure 7 consists of ingredients from which a refractive index changes.

[0076]

About this optical deflection section 6, it classifies into two fields 8 and 9 according to the diagonal line, and by using these fields 8 and 9 as a refractive-index variable part, it consists of gestalten of this operation so that a refractive index can be changed according to an individual by electric-field impression, optical exposure, etc. In order that the reflection factor of a photograph nick crystal may change, transparency and reflection of light are controllable by a refractive index changing.

[0077]

For example, if refractive-index change is not given to fields 8 and 9 when the incident light which has transparent wavelength from the waveguide 3 by the side of incidence to the photograph nick crystal structure 6 has carried out incidence, by the rectilinear-propagation nature of light, a lightwave signal bypasses the optical deflection section 5 by the photograph nick crystal structure 6, and transmits it to optical waveguide 5. However, if the refractive index of a field 9 is changed and it is made for propagation wavelength to enter in a photograph nick band gap, it reflects and light is spread to the optical waveguide 4 side by which rectangular arrangement was carried out. If structure of giving refractive-index change is used as the prism mirror mold as shown in drawing 1, it can be efficient and light can be reflected. Furthermore, since the part to which a refractive index is changed can be adjusted, the path (travelling direction) of light can be transformed in the direction of arbitration.

[0078]

Therefore, fundamentally, by carrying out adjustable [of the mirror] with a micro machine technique mechanically, as compared with the method which makes such a path change, it excels in stability and, according to the gestalt of this operation, high-speed path modification can also be expected at the point which is not machine migration.

[0079]

Moreover, especially reflection of light like the gestalt of this operation is effective as an optical path conversion means. This is because the travelling direction of light is controllable to specific wavelength, without producing loss of light. But in addition to this, it can use not only in such an example also as a light modulation means, a light wave length selection means, a lightwave signal time-sharing means, and a pulse generator.

[0080]

Moreover, it is effective it not only to prepare a refractive-index variable part, but to establish the false phase matching structure where the polarization reversal process part was prepared in LN substrate or LT substrate to the KTP substrate, and to combine with a nonlinear optical effect. It is possible to change an optical path only for a specific SHG light produced according to the nonlinear optical effect, 4 light-wave mixing light, or the original input light by reflection or transparency alternatively in a minute field. As false phase matching, you may be back-coupling false phase matching in addition to the usual false phase matching. Furthermore, it is effective to reduce group velocity with a photograph nick crystal, and to make an effectual nonlinear optics constant increase. Moreover, it is also effective to consider as the false phase matching structure where phase velocity was in agreement or changed it by the photograph nick crystal structure itself, and false phase matching structure considered as unnecessary nonlinear excitation structure, or phase-velocity change was taken into consideration.

[0081]

Moreover, since a polarization reversal process part is separated by the structure of having the opening in the polarization reversal process by the electrical-potential-difference impression by the electrode, or the

ionic diffusion according to the hole structure, the column structure, or the slot structure separately established at right angles to a substrate of a photograph nick crystal, the false phase matching structure of a pitch more detailed than before can be established. Furthermore, the part itself to which an electrical potential difference is impressed is also separable by carrying out electrical-potential-difference impression with the electrode prepared in the hole structure, the column structure, or the slot structure separately established at right angles to a substrate of a photograph nick crystal.

[0082]

By the way, although the photograph nick crystal structure 6 is constituted all over the optical deflection section 5, if it is branching to optical waveguide 4 or the 2-way which becomes five simply as shown in drawing 1, the photograph nick crystal structure 6 does not need to be constituted from an example shown in drawing 1 by field 8 part. However, at this time, the photograph nick crystal structure 6 of field 9 part is not cut aslant, and it leans plane of incidence in the direction which you want to reflect so that the incidence of the light can be obediently carried out to the photograph nick crystal structure 6. For example, since the arrangement include angle of grids is 60 degrees, in making it reflect at 45 degrees as it is shown in drawing 1 whether it is made to reflect at 60 degrees or 30 degrees if it is a triangular grid, it takes the approach of leaning the crystal itself 45 degrees and reflecting. The same is said of the case of a tetragonal lattice, and although it can realize by arrangement of a photograph nick crystal when making it reflect at 45 degrees since the arrangement include angle of a grid is 90 degrees, it is necessary to lean to the include angle to the include angle of arbitration.

[0083]

Moreover, although it is considering as the optical waveguide of a total reflection mold in drawing 1 so that light may spread an optical fiber as optical waveguides 3, 4, and 5, the waveguide in which the photograph nick crystal structure 6 is carried is sufficient, and the line defect waveguide which introduced the defect into some photograph nick crystals is sufficient.

[0084]

The example of a deformation configuration at the time of using the line defect waveguide of this photograph nick crystal is explained based on drawing 19 thru/or drawing 23. Drawing 19 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 1 using the line defect waveguide by the photograph nick crystal instead of the optical waveguide of a total reflection mold. In drawing 18, it has three line defect waveguides 301,302,303 which consist of defects of one train connected to the fields 8 and 9 as a refractive-index change part, and fields 8 and 9 are constituted so that the refractive index can be changed according to an individual by electric-field impression, optical exposure, etc. At this time, it can use as high-speed deflecting system, a path modification machine, and a modulator by the propagation light which carried out incidence from the line defect waveguide 301 making propagation light go straight on to the line defect waveguide 303 by changing the refractive index of fields 8 and 9, or performing alternatively making it reflect in the line defect waveguide 302.

[0085]

Moreover, line defect waveguide is limited to the defect of one train, and the example of a configuration shown in drawing 19 is not a reason. Drawing 20 can show the example of a configuration at the time of using three line defect waveguides 304,305,306 which consist of two or more defects connected to the fields 8 and 9 as a refractive-index change part, can make [many] the class of propagation light which it can be generated now and can use the mode of propagation of a substrate horizontal direction, and can enlarge effectiveness of optical control now more. [two or more]

[0086]

Moreover, the field as a refractive-index change part is not necessarily limited to preparing two fields during a photograph nick crystal. Drawing 21 and drawing 22 can control rectilinear propagation and reflection by forming one field 307 as a refractive-index change part, and changing the refractive index of one field 307 of a refractive-index change part to the refractive index of the defective part of the line defect waveguide which light has spread. Moreover, the field 307 used as these refractive-index change parts may be formed by compounding two or more kinds of different ingredients, and may be formed in the waveguide part which consists of the same ingredient which consists of optical crystal, a nonlinear ingredient, etc. electric-field impression and by carrying out an optical exposure. Moreover, it is good also as a small modulator by establishing the field 307 to which a refractive index is changed in the center section of the line defect waveguide 308, as shown in drawing 23. Moreover, the reflected light in this case is separated using a circulator, and it is good also as a path modification machine. The field 307 of the refractive-index change part at this time is not necessarily limited to the interface which has the include angle which serves as an

acute angle to the line defect waveguide 308, and may be established in the direction of a defect and perpendicular of straight-line defective waveguide. Since an interface impedance can be changed to the continuation low when slanting, the interface reflective component can be reduced and permeability can be raised.

[0087]

By the way, as the example, the configuration of an optical controlling element 1 like the gestalt of this operation is the following, and can be made and realized. For example, if a circular hole is constituted from lithography and etching in a semi-conductor thin film with the thickness of guide wave length extent of light, a two-dimensional air circular hole can be constituted to the semi-conductor of a refractive index 3. There may not be need that dielectric constant distribution is not necessarily circular, and a rectangle and a polygon are sufficient as it. This semi-conductor thin film can be formed by exposing a thin film to air by carrying out selective etching of the InP substrate and GaAs substrate with which the quantum well and the deformation amount child well were formed. Moreover, it can form, even if it uses a SOI (Silicon on insulator) substrate with Si thin film of the thickness of wavelength extent formed on SiO₂ of a refractive index 1.45, and it is reported by many papers. Since especially a SOI substrate was used for an electronic circuitry and it was developed, its utility value is very high in respect of crystal quality or cost.

[0088]

Although light is shut up in the vertical direction in the total reflection of air and a semi-conductor, in a thin film side, the formed two-dimensional photograph nick crystal characteristics can be used. By connecting optical waveguide to this slab mold two-dimensional photograph nick crystal section, the structure of the optical controlling element 1 of the gestalt of this operation can be formed.

[0089]

Moreover, the diaphragm structure according such structure to ceramics, such as inorganic crystals, such as lithium niobate, niobic acid titanium, and KTP, or PZT, and PZLT, is made into the Ayr bridge structure which serves as formation or an air boundary on a low refractive-index medium, and it is realizable even if it forms a photograph nick crystal in a thin film. Furthermore, it is possible, even if it forms an organic molecule or organic crystal thin films, such as liquid crystal which has nematic ** smectic structure, and azo dye, still benzene coloring matter, dust, on a low dielectric layer and constitutes the photograph nick crystal structure. Of course, you may form with two-dimensional structure. For example, it is possible to constitute from introducing the refractive-index change structure of organic material in the three-dimension photograph nick crystal which consisted of to carry out the laminating of the semi-conductor stripe.

[0090]

By the way, since the principle of operation of the optical controlling element 1 of the configuration of the gestalt of this operation was checked by computer simulation, with reference to drawing 2, the result is explained below. First, photograph nick band analysis can confirm the phenomenon in which a photograph nick band changes because a refractive index changes.

[0091]

The result calculated by the plane wave unfolding technique which is one of the analysis technique of a photograph nick band is shown in drawing 2. The photograph nick crystal structure by the circular hole of a triangular grid is constituted by the substrate of a refractive index 3.5, and it analyzes to the example of a configuration where the refractive index embedded the medium of 1.4 or 1.6 inside the circular hole. Such a configuration is realizable by filling up a semi-conductor substrate with liquid crystal. The radius r of a circular hole used the value determined by $r=0.9a$ to the distance pitch a between circular holes.

[0092]

Here, it considered as two-dimensional analysis and the photograph nick band in the electric transverse-wave (Transverse Electric:TE) mode in which electric field exist in a substrate side is calculated.

[0093]

Drawing 2 (a) is a band Fig. to a refractive index 1.4, and drawing 2 (b) is a band Fig. to a refractive index 1.6. The part expressed with the mesh is a photograph nick band gap, and it is the field where optical propagation is forbidden to the wave number of all the directions of [within a two-dimensional side]. Compared with drawing 2 (a), the location of this band gap has shifted drawing 2 (b) in the direction where normalized radian frequency (Normalized Frequency) is low. That is, since the light of normalized radian frequency 0.35 is in a band gap in a refractive index 1.4, light does not penetrate, but since it separates from a band gap in a refractive index 1.6, light penetrates with the normalized radian frequency determined with the photograph nick band. These photograph nick band Figs. show that transmittance control of light can be performed by refractive-index control.

[0094]

Such an optical controlling element 1 can be constituted by using for example, a semi-conductor substrate and liquid crystal as other examples. That is, in GaAs or Si substrate, by photolithography and etching, if it is the wavelength of light, a minute circular hole 1 micrometer or less can be produced, and it can constitute from pouring in liquid crystal at the produced circular hole part. Many of liquid crystal represented by the nematic liquid crystal shows the refractive-index anisotropy which changes with electric-field impression, and the refractive-index difference is about 0.2. moreover -- if it is thin film slab structure -- the light of the vertical direction -- also shutting up -- since it becomes possible, the above configurations can be realized, without light leaking. A SOI substrate can be used as thin film slab structure, and 1 micrometer or less is desirable, and if the thickness of a slab part is thickness which carries out single mode propagation in the vertical direction, it is more desirable. Therefore, the optical controlling element 1 which can change the refractive index in a circular hole can consist of taking such a configuration.

[0095]

Moreover, Si cylinder is formed on a SOI substrate, the configuration which fills a perimeter with liquid crystal may be taken, and optical waveguide may be formed with an organic material. This can give effectiveness which was mentioned above by optimizing a design value, although the cylinder which is a high dielectric constant ingredient serves as a configuration surrounded with the liquid crystal which is a low dielectric constant.

[0096]

Since optical waveguide with a low refractive index can be formed with such a configuration, it becomes possible to constitute coupled systems with an optical fiber etc. comparatively easily.

[0097]

Such an optical controlling element 1 is further producible as follows as other examples. That is, dry etching of the front face of the Z-axis cut crystal substrate of lithium niobate (LN) is carried out using a metal mask to CF system gas. This obtains the substrate front face which has micropore with a depth of 1 micrometer. Then, a silicon substrate with a thermal oxidation silicon film and LN substrate which has micropore on this front face are stuck, and oxides are joined. then, the rear face of LN substrate -- mechanical polishing -- it grinds [CMP-] or grinds [ion-], thickness of LN substrate is set to 1 micrometer, and micropore is made to penetrate in micropore, if beforehand filled up with a silicon oxide, the silicon nitrogen film, or a poly membrane, breakage of the micropore by polish will decrease. Then, an air gap slab mold LN photograph nick crystal is producible by removing silicon oxide and the restoration matter of micropore partially by wet etching using a resist mask.

[0098]

If the electrode is beforehand prepared in the vertical part near the micropore of LN, and micropore, a heavy current solution can be impressed to minute space, and it is more effective. Furthermore, the electric drive component is prepared on silicon, electrophoresis can perform electrical installation of the electrode on LN, and the electric drive component on silicon, and the optical controlling element of electric drive component one apparatus by the compound substrate can be produced.

[0099]

It may replace with lithium niobate and micropore may be similarly produced by dry etching to inorganic ceramics, such as inorganic crystals and the organic materials of a high refractive index, such as niobic acid titanium, KTP and SBN (SrBaNb multiple oxide), and barium titanate, or PZT, PZLT, and barium titanate. Moreover, it may replace with a silicon substrate and LN substrate, a MgO dope LN substrate, a GaAs substrate, and other substrates may be used.

[0100]

Furthermore, the waveguide by proton diffusion or titanium diffusion may be prepared in some of these photograph nick crystals of LN, or dicing, and the dry ridge form or the flush-type waveguide depended dirtily may be produced. Furthermore, it may put on a photograph nick crystal layer and a multilayer, and you may be a multilayer slab waveguide and three-dimension waveguide.

[0101]

Moreover, the thin film of LN or PZT or a photograph nick crystal structure thin film is not necessarily limited to using a crystal, and may be produced by the precursor using a sol gel process, and the dry etching of the precursor.

[0102]

Moreover, the micropore formed by dry etching on silicon may be filled up with liquid crystal. At this time, it is also effective to use the liquid crystal photograph nick crystal which made orientation of liquid crystal

the perpendicular direction to the substrate, and was produced by impressing horizontal electric field. Furthermore, the substrate which has the electro-optical effect like LN substrate instead of a mere substrate may be partially filled up with liquid crystal, and the electro-optical effect may be produced complexly.

[0103]

By the way, in order to check the phenomenon in which permeability change of light takes place, simulation was performed by the time domain finite difference method (Finite Difference Time Domain (FDTD) Method). Based on the model in a plane wave unfolding technique which was mentioned above, the radius r of 0.44 micrometers and a circular hole was set [the wavelength of light] to 0.198 micrometers ($2r=0.9a$) for the pitch a of 1.3 micrometers and a circular hole. The photograph nick crystal part was made into ten layers. This is equivalent to 4 micrometers of thickness, and very detailed thickness. Incidence of the plane wave is carried out in the direction of gamma-X, and the permeability (Transmittance) to the wavelength (Wavelength) computed from the power ratio of the light by the side of the incidence of the photograph nick crystal structure 6 and outgoing radiation is shown in drawing 3 . In the wavelength of 1.3 micrometers, change of 35dB or more has produced permeability by the refractive-index modulation. This is sufficient extinction ratio to control transparency and reflection, and the wavelength range which 30dB or more of extinction ratios can take is also still as wider as 50nm. If the wavelength range is wide, there is an advantage which stops needing highly precise control of the oscillation wavelength which is easy to change by own generation of heat of semiconductor laser etc. If the photograph nick crystal structure 6 is used, it is possible to reflect, if the large beam has also required not a plane wave but the include-angle component of the wave number for the photograph nick band gap.

[0104]

[The gestalt of the second operation]

The gestalt of operation of the second of this invention is explained based on drawing 4 . Drawing 4 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 11 of the gestalt of this operation. the optical controlling element 11 of the gestalt of this operation -- a substrate (not shown) top -- three optical waveguides 12, 13, and 14 -- for example, the include angle of 120 degrees is given and formed mutually, the optical deflection section 15 as optical coupling components is formed in the core of such optical waveguides 12, 13, and 14 for example, in the shape of an equilateral triangle, and is prepared in it, and the end of each optical waveguides 12, 13, and 14 connects. On the edge by the side of the optical deflection section 15 of each optical waveguides 12, 13, and 14, it is formed here as a refractive-index variable part which can control permeability because the photograph nick crystal structures 16, 17, and 18 change a refractive index respectively independently by the waveguide width of face.

[0105]

In addition, although the number of the optical waveguide connected to the optical deflection section 15 is three in the example of illustration, you may be not only three but four optical waveguides or more. But since there is width of face in optical waveguides 12, 13, and 14, if a large number connection is made, since it originates in the area of a connection part becoming large, light spreads by diffraction and joint effectiveness will become low, about four are more desirable. Moreover, a single mode is sufficient as the width of face of optical waveguides 12, 13, and 14, and the width of face corresponding to a multimode is sufficient as it. Although it is it hard to treat a multimode to be an optical circuit using total reflection generally, since the photograph nick crystal structures 16, 17, and 18 are used as a mirror in the case of the gestalt of this operation, to a specific deviation, a high reflection factor can be given to the wave number of all directions.

[0106]

[The gestalt of the third operation]

The gestalt of operation of the third of this invention is explained based on drawing 5 . Drawing 5 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 21 of the gestalt of this operation. the optical controlling element 21 of the gestalt of this operation -- a substrate (not shown) top -- four optical waveguides 22-25 -- for example, it is made to arrange in the shape of [which intersects perpendicularly mutually] a cross joint, and forms, and the optical deflection section 26 as optical coupling components is formed in the core of such optical waveguides 22-25 for example, in the shape of a square (one of the polygon configurations), and is prepared in it, and the end of each optical waveguides 22-25 connects. In addition, as a number of optical waveguide, you may be not only four of the example of illustration but five or more. But if much optical waveguides are connected, since the area of a connection part becomes large, and light will spread under the effect of diffraction and it will become the cause of loss like the case of the gestalt of the second operation, about four are more desirable.

[0107]

Moreover, the photograph nick crystal structure 27 produced by forming periodic refractive-index (dielectric constant) distribution on a substrate is constituted by the optical deflection section 26. Furthermore, it is classified into the right-angle 2 equilateral-triangle-like four fields 28-31 according to the two diagonal lines, and respectively, each fields 28-31 change a refractive index according to an individual, and, as for this optical deflection section 26, let them be the refractive-index change parts which can constitute a photograph nick crystal mirror.

[0108]

That is, in the optical controlling element 21 of the gestalt of this operation, if the refractive index is not changed about which fields 28-31, the light which carried out incidence from optical waveguide 22 is outputted from optical waveguide 24 from the rectilinear-propagation nature of light. If the refractive index of fields 30 and 31 is changed and the permeability of light is changed, since it will become the reflector (photograph nick crystal mirror) of a prism configuration with the gestalt of this operation on the other hand, it is reflected by the interface of the fields 30 and 31 of the optical deflection section 26, and outgoing radiation of the light which carried out incidence from optical waveguide 22 is carried out from optical waveguide 23.

[0109]

Similarly, if the refractive index of fields 29 and 30 is changed, outgoing radiation of the light will be carried out from optical waveguide 25.

[0110]

Thus, the travelling direction of the light from optical waveguide 22 can be turned and deflected in the direction of arbitration with the combination of the fields 28-31 to which a refractive index is changed.

[0111]

[The gestalt of the fourth operation]

The gestalt of operation of the fourth of this invention is explained based on drawing 6. Drawing 6 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 41 of the gestalt of this operation. the optical controlling element 41 of the gestalt of this operation -- a substrate (not shown) top -- four optical waveguides 42-45 -- for example, it is made to arrange in the shape of [which intersects perpendicularly mutually] a cross joint, and forms, and the optical deflection section 46 as optical coupling components is formed in the core of such optical waveguides 42-45 for example, in the shape of a square (one of the polygon configurations), and is prepared in it, and the end of each optical waveguides 42-45 connects.

[0112]

Moreover, the photograph nick crystal structures 47-51 are respectively constituted by the edge and the optical deflection section 46 by the side of the optical deflection section 46 of optical waveguides 42-45. Furthermore, this optical deflection section 46 is classified into the right-angle 2 equilateral-triangle-like four fields 52-55 according to the two diagonal lines. It considers as the refractive-index change part with these each and 48 to photograph nick crystal structure 51 parts of fields 52-55 able to change a refractive index according to an individual respectively. For example, if it is the case where the electro-optical effect by the opto electronics material is used and an electrode is constituted independently, it will become possible to impress electric field independently. Moreover, if a thermooptic effect is used, it will become possible by attaching a heater according to an individual.

[0113]

It becomes possible to make light spread in the direction of arbitration with the combination of refractive-index change of these refractive-index variant parts (fields 52-55, 48 to photograph nick crystal structure 51 part).

[0114]

For example, by changing the refractive index of a refractive-index variant part (the photograph nick crystal structure 49, 51 parts), the lightwave signal which carried out incidence from optical waveguide 42 goes straight on, and outgoing radiation is carried out from optical waveguide 44. Although outgoing radiation of the light is carried out from optical waveguide 44 even if it does not change the refractive index of a refractive-index variant part (the photograph nick crystal structure 49, 51 parts), considering the rectilinear-propagation nature of light, there is effectiveness which can control the light which leaks to optical waveguides 43 and 45 by diffraction by the refractive-index variant part (the photograph nick crystal structure 49, 51 parts), and optical transmission loss is reduced. That is, in order to gather joint effectiveness, it is the description of the gestalt of this operation to prepare a refractive-index variant part

(the photograph nick crystal structure 49, 51 parts).

[0115]

When it is the configuration that four or more optical waveguides were connected, it becomes impossible moreover, for light to combine with optical waveguide 45 efficient under the effect of reverse etc., although it is possible to make optical waveguide 45 deflect the light from optical waveguide 42 if the refractive index of a refractive-index variant part (the photograph nick crystal structure 49, 50 parts) is changed. Then, if the refractive index of a refractive-index variant part (fields 53 and 54) is changed, it is possible for light to be efficient to optical waveguide 45, and to carry out incidence to it by reflection of a prism configuration.

[0116]

That is, with the gestalt of this operation, it makes it possible to combine light in the direction of arbitration efficient efficient by combining the gestalt of the second and the third operation.

[0117]

[The gestalt of the fifth operation]

The gestalt of operation of the fifth of this invention is explained based on drawing 7. Drawing 7 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 61 of the gestalt of this operation. the optical controlling element 61 of the gestalt of this operation -- a substrate (not shown) top -- four optical waveguides 62-65 -- for example, it is made to arrange in the shape of [which intersects perpendicularly mutually] a cross joint, and forms, and the optical deflection section 66 as optical coupling components is formed in the core of such optical waveguides 62-65 for example, in the shape of a square (one of the polygon configurations), and is prepared in it, and the end of each optical waveguides 62-65 connects. In addition, as a number of optical waveguide, you may be not only four of the example of illustration but five or more. But if much optical waveguides are connected, since the area of a connection part becomes large, and light will spread under the effect of diffraction and it will become the cause of loss like the case of the gestalt of the second operation, about four are more desirable.

[0118]

Moreover, the photograph nick crystal structure 67 produced by forming periodic refractive-index (dielectric constant) distribution on a substrate is constituted by the optical deflection section 66. Furthermore, this optical deflection section 66 is classified into the right-angle 2 equilateral-triangle-like four fields 68-71 according to the two diagonal lines, and let it be the refractive-index change part by which each fields 68-71 change a refractive index according to an individual respectively, and can control that permeability.

[0119]

In such a configuration, if only the reflection factor of field 70 part is changed by refractive-index change, T character mold branching will be constituted from a part for the bond part of optical waveguide 62 and the optical deflection section 66, the light from optical waveguide 62 will be turned to optical waveguides 63 and 65, and branching will become possible.

[0120]

As for such a configuration, low loss branching consists of single mode waveguides using total reflection (1682 17 IEEE Lightwave Technol.Vol. p. 1999). However, in multimode waveguide, the efficient reflection by total reflection is difficult at the higher mode, and it becomes the cause of big loss. Like this point and the gestalt of this operation, if a photograph nick crystalline array can be used as a reflecting mirror, it will become possible to obtain a reflection factor also with the big higher mode, and efficient branching will be attained.

[0121]

[The gestalt of the sixth operation]

The gestalt of operation of the sixth of this invention is explained based on drawing 8 and drawing 9. Drawing 8 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 81 of the gestalt of this operation. the optical controlling element 81 of the gestalt of this operation - a substrate (not shown) top -- three optical waveguides 82-84 -- for example, the include angle of 120 degrees is given and formed mutually, the optical deflection section 85 as optical coupling components is formed in the core of such optical waveguides 82-84 for example, in the shape of an equilateral triangle, and is prepared in it, and the end of each optical waveguides 82-84 connects. On the edge by the side of the optical deflection section 85 of each optical waveguides 82-84, it is formed here as a refractive-index variable part with two or more kinds of photograph nick crystal structures 86-88, and 89-91. [able to change a refractive index respectively independently by the waveguide width of face]

[0122]

That is, it consists of different arrays and periodic structures in the photograph nick crystal structures 86-88 and the photograph nick crystal structures 89-91. That is, the photograph nick crystal structure 86-88 side is the structure where a reflection factor can change, to an electric transverse wave (Transverse Electric:TE), and the photograph nick crystal structure 89-91 side is the structure where a reflection factor can change, to a magnetic transverse wave (Transverse Magnetic:TM).

[0123]

In addition, although the number of the optical waveguide connected to the optical deflection section 15 is three in the example of illustration, you may be not only three but four optical waveguides or more. But since there is width of face in optical waveguides 12, 13, and 14, if a large number connection is made, since it originates in the area of a connection part becoming large, light spreads by diffraction and joint effectiveness will become low, about four are more desirable.

[0124]

In such a configuration, a photograph nick crystalline array has fundamentally the property in which the polarization dependency over TE and TM is large. Although it is possible to give a band gap to TE and TM both polarization depending on the Mitsuhashi child's array, if the constraint is narrow and the refractive-index difference of periodic structure is small, the structure which TE and the band gap to TM both polarization open cannot be designed. With this point and the gestalt of this operation, TE and the structure which has a band gap to TM both polarization are not given by force, but a band gap is given to one of the two's polarization. Thereby, a design allowable error becomes large. Moreover, if this reflection factor control is performed only to reflecting layer of one of the two, it will become the configuration that polarization is separable.

[0125]

For example, it is possible to make TM polarization and TE polarization separate so that do not give refractive-index change to the photograph nick crystal structures 86 and 89, but TE and TM both polarization are made to penetrate, and it controls TE polarization by giving refractive-index change to the photograph nick crystal structure 91, and the lightwave signal of TE polarization of TM polarization to optical waveguide 83 may spread to optical waveguide 84, if TM polarization is controlled by giving refractive-index change to the photograph nick crystal structure 87. Therefore, the polarization dependency as an optical controlling element 81 can be canceled, and it becomes possible to realize the optical switch for board intrinsic-light INTAKONEKUSHON in a minute field.

[0126]

By the way, the photograph nick band Fig. to TE polarization and TM polarization is shown in drawing 9. A photograph nick crystal consists of triangular grids of 2.2 and an air circular hole for a substrate refractive index, and the ratio of a radius r and a pitch a is $r=0.8a$. Moreover, it calculated by the plane wave unfolding technique as well as the case of drawing 2. Although the photograph nick band gap exists by TE polarization that it is this configuration to the wave number vector of the direction of arbitration, to TM polarization, a photograph nick band gap exists only in the wave number vector of the specific direction. For example, in drawing 9, although the light of TM polarization will penetrate if incidence of the light corresponding to normalized radian frequency 0.4 is carried out, the light of TE polarization will be penetrated. A polarization separation component can consist of using this phenomenon.

[0127]

In addition, also in the gestalt of this operation, the permeability can also be changed by changing the refractive index of the photograph nick crystal structures 87 and 90, or the refractive index of the photograph nick crystal structures 88 and 91 to coincidence.

[0128]

[The gestalt of the seventh operation]

The gestalt of operation of the seventh of this invention is explained based on drawing 10 thru/or drawing 12 and drawing 24 thru/or drawing 27. Drawing 10 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 101 of the gestalt of this operation -- a substrate (not shown) top -- three optical waveguides 102-104 -- for example, the include angle of 120 degrees is given and formed mutually, the optical deflection section 105 as optical coupling components is formed in the core of such optical waveguides 102-104 for example, in the shape of an equilateral triangle, and is prepared in it, and the end of each optical waveguides 102-104 connects. On the edge by the side of the optical deflection section 105 of each optical waveguides 102-104, it is formed here as a refractive-index variable part with the photograph nick crystal structures 106-108 able to change a refractive index respectively independently by the waveguide width of face.

[0129]

The photograph nick crystal structures 106-108 of the gestalt of this operation here are used as a photograph nick crystal layer as shown in drawing 11 (a), and resonator structure is formed by including the defective part 110 in the photograph nick crystal which consisted of Mitsuhashi children 109. The number of layers of a photograph nick crystal changes with reflection factors to expect. A point defect is sufficient as the defective part 110, and it can also choose the number of a defect with a property. Only the light which has specific wavelength within a photograph nick band gap by this defective part 110 becomes possible [penetrating].

[0130]

Since it is not necessary to use migration of the photograph nick band by refractive-index change and resonance mode is used according to structure like the gestalt of this operation, it becomes switchable by change of few bands. That is, if it limits to specific wavelength, it will become possible for at least 0.01 or less ingredient with an opto electronics material to reflection factor control refractive-index change (transmittance control).

[0131]

Drawing 12 is the property Fig. showing the simulation result which showed change of the permeability to the wavelength of 1 train deficit. This example is the photograph nick crystal of a circular hole triangular pattern, and is $r = 320\text{nm}$ ($r=0.80a$) in the pitch of $a = 400\text{nm}$, and radius. Moreover, the refractive index of a substrate was set to 2.2 and set the refractive index of a circular hole part to 1.0.

[0132]

Incidence of the pulse which has a peak in the direction of gamma-X at the wavelength of 850nm was carried out to the TE mode, and simulation was carried out by FDTD count. Moreover, the result when changing a refractive index 1% is also shown in coincidence. Wavelength change is about 5nm in change of 1% of refractive indexes. An extinction ratio changes with the number of layers of a photograph nick crystal layer, and 25dB or more of extinction ratios can take it by six layers. That is, transparency reflection of light is controllable by 2-micrometer thickness. Moreover, an extinction ratio can be increased by increasing a number of layers.

[0133]

As an ingredient which causes such refractive-index change, there are opto electronics materials, such as a 2 OBU acid lithium, PZLT, a ceramic, and an organic material. Moreover, even if it uses the carrier plasma effectiveness using a semi-conductor quantum well, it is possible to cause 1% of refractive-index change. These defective parts are uniform and can control a permeability profile by preparing in multiplex.

[0134]

Drawing 24 and drawing 25 are constituting two or more photograph nick crystal resonators which controlled spacing of a resonator part, and show the example of a configuration which makes flattening of a resonance peak possible. By forming three line defect parts 401,402,403 and increasing spacing of the central line defect part 402 0.5 to 0.8 times (the example of illustration being 0.78 times) of other line defect parts 401,403, drawing 24 makes the defect structure part which consists of one line defect part 110 in drawing 11 the multiplex ununiformity line defect structure of having two or more line defects, and constitutes the photograph nick crystal resonator which consists this of a LN ingredient. Drawing 25 is as a result of [which showed change of the permeability of the multiplex ununiformity line defect structure shown in drawing 24] simulation. Like drawing 12 , the example of drawing 25 was the photograph nick crystal of a circular hole triangular pattern, was $r = 320\text{nm}$ ($r=0.80a$) in the pitch of $a = 400\text{nm}$, and radius, set the refractive index of LN ingredient to 2.2, and set the refractive index of a circular hole part to 1.0. In drawing 25 , two continuous lines are multiplex ununiformity line defect structures, and two broken lines are the permeability of the defect structure part which consists of one line defect in the case of drawing 12 shown as a comparison (two of right-hand side show respectively the case where two, $n=n_1$ and left-hand side, are $n=n_1-\delta n$). Even if 0.5nm wavelength shifts from the maximum permeability wavelength in drawing 25 at this time, also setting the extinction ratio at the time of being able to have 98% or more of permeability, and carrying out refractive-index change to 30dB is shown. On the other hand, in the case of the resonator structure which consists of one line defect part 110, when 0.5nm wave shifts from the maximum permeability wavelength, the extinction ratio at the time of permeability becoming 50% or less, and carrying out refractive-index change is also 25dB. For this reason, it turns out that the optical controlling element which the optical control characteristic by the photograph nick crystal which has multiplex ununiformity line defect structure raised the wavelength band, and was raising the extinction ratio rather than the case of the resonator structure which consists of one line defect part, and has improved that optical control

characteristic greatly is realizable.

[0135]

Moreover, in drawing 10 , although optical waveguide is considering as the optical waveguide of a total reflection mold so that light may spread an optical fiber as 102,103,104, the line defect waveguide which introduced the defect into this waveguide itself at some photograph nick crystals is sufficient as it. The example of a deformation configuration at the time of using the line defect waveguide of this photograph nick crystal is explained based on drawing 26 . Drawing 26 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 1 using the line defect waveguide by the photograph nick crystal instead of the optical waveguide of a total reflection mold. In drawing 26 , it has three line defect waveguides 502,503,504 which consist of defects of one train connected to the resonator structure 501 by the line defect of a different direction from the propagation which has a refractive-index change part. This resonator structure 501 is constituted so that that refractive index can be changed by electric-field impression, optical exposure, etc. At this time, it can use as high-speed deflecting system, a path modification machine, and a modulator by the propagation light which carried out incidence from the line defect waveguide 504 making propagation light go straight on to the line defect waveguide 503 by changing the refractive index of the resonator structure 501, or performing alternatively making it reflect in the line defect waveguide 502.

[0136]

Moreover, it is good also as a small modulator by preparing the part to which a refractive index is changed in the center section of one line defect waveguide 505, as shown in drawing 27 . Moreover, the reflected light in this case is separated using a circulator, and it is good also as a path modification machine. The resonator structure 506 used as the field of the refractive-index change part at this time is not necessarily limited to the interface which has the include angle which serves as an acute angle to the defective waveguide 505, and may be prepared in the direction of a defect and perpendicular of the straight-line defective waveguide 505. Since distribution of the wave front of propagation light and the wave front which can be resonated are more in agreement when perpendicular, permeability can be improved.

[0137]

In addition, spacing of a resonator part may change spacing of defective partial 110 part in the photograph nick crystal structure, as shown in drawing 11 (b), and it may change the magnitude of the Mitsuhara child 109 who approaches defective partial 110 part as shown in drawing 11 (c).

[0138]

It is possible for this to control degradation of the switching characteristic by the abrupt change of the reflection factor in a resonator part by few wavelength deflections (fluctuation of oscillation wavelength) of the light source from semiconductor laser, and it is possible to constitute the optical switch which extended the tolerance to wavelength, and an optical modulator.

[0139]

[The gestalt of the eighth operation]

The gestalt of operation of the eighth of this invention is explained based on drawing 13 . Drawing 13 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 111 of the gestalt of this operation. The cross-joint-like optical waveguides 112-115 are formed on a substrate (not shown), the optical controlling element 111 of the gestalt of this operation uses a part for the intersection of such optical waveguides 112-115 as optical coupling components, and the photograph nick crystal structure 116 is formed in one direction of the diagonal line. This photograph nick crystal structure 116 is formed as a photograph nick crystalline array in which the defective part 117 of two or more trains exists. In this case, it considers as a symmetry array a core [the defective part 117], considers as the photograph nick crystalline array which has the same number of layers by two-layer at least, and considers as structure connectable also with the multi-mode optical waveguide in a two-dimensional side. Here, when light carries out incidence of the "train" to a photograph nick crystal perpendicularly, it is the thing of the photograph nick crystal facing plane of incidence, and a "layer" shows the photograph nick crystal arranged to the travelling direction of light. That is, in the example shown in drawing 13 , although the photograph nick crystal structure 116 leans in the direction of the diagonal line 45 degrees, it is the structure where the 4th layer is the defective parts 117 in seven layers, and, as for the 1st layer, shows the example of 20 ***** structures.

[0140]

Such the photograph nick crystal structure 116 is leaned and arranged to arrangement of the optical waveguides 112-115 by the side of close outgoing radiation.

[0141]

In such a configuration, although the lightwave signal which carried out incidence on the specific wavelength chosen by the resonance mode by the defective part 117 penetrates the photograph nick crystal structure 116 and spreads it to optical waveguide 114 before refractive-index change, since permeability will fall if the wavelength of resonance mode changes with refractive-index change, it is reflected in photograph nick crystal structure 116 part, and it makes an optical-path change at an optical waveguide 115 side.

[0142]

Although the photograph nick crystal structure 116 should just have a two-layer photograph nick crystalline array here at least, when the defective part 117 is aslant formed like the example of illustration for example A vertical number of layers to the defective part 117 like the gestalt of this operation of what may change with formation approaches of the defective part 117 The photograph nick crystal number of layers from the close outgoing radiation side of light can become equal, and the path of light can be made to change more efficiently by making a vertical number of layers the same to the defective part 117.

[0143]

Moreover, although it will become impossible to expect the effectiveness by being the layer on which a photograph nick crystal functions as a mirror as a number of layers of the photograph nick crystal structure 116, being reflected, without light reaching to the defective part 117 if there are too many these number of layerses, and giving the defective part 117 According to the simulation result, it can check that the effectiveness by fully giving the defective part 117 shows up by inserting as the photograph nick crystal of six layers at vertical incidence. Moreover, having also made one layer fluctuate will change the property of a resonator a lot. If such a point is considered, since effectiveness by giving the defective part 117 in ten or more layers may be unable to expect as a number of layers of the photograph nick crystal structure 116, considering as ten or less layers is desirable.

[0144]

Moreover, it is considered as the structure have the propagation wave-propagation wave number vector component which spreads a photograph nick crystal in addition to the direction which intersects perpendicularly in the direction of a straight line of the defective part 117 of the photograph nick crystal structure 116 in the case of the gestalt of this operation, and carries out incidence to the defective part 117, and the permeability of light is controllable even if it carries out the incidence of the light with the wave number which leans to the defective part 117 of the photograph nick crystal structure 116 formed in the two-dimensional side. But this point is applicable also to the incident light which has wave number distribution not only like the example of an assumption in case the plane wave whose incident light is the single wave number carries out incidence as an example of application to the case of the photograph nick crystal structure 116 which has the defective part 117 but like a beam. Moreover, it not only controls transparency and reflection of light, but it becomes possible from the optical waveguide by the side of incidence to make the optical waveguide by the side of another outgoing radiation make a path change of the light which carried out incidence in the direction of slant.

[0145]

In addition, when light spreads from an optical waveguide 112 side to an optical waveguide 114 side, the reflector by the photograph nick crystal structure may be installed on optical waveguide 115 like [at the time of being shown in drawing 6] so that it may not leak to an optical waveguide 115 side. Moreover, the arrangement include angle of optical waveguide does not need to be 90 degrees as shown in drawing 13 , and it is also possible to make it the include angle of 90 degrees or more. Furthermore, since it is the structure which penetrates only specific wavelength, it can use also as a wavelength filter.

[0146]

[The gestalt of the ninth operation]

The gestalt of operation of the ninth of this invention is explained based on drawing 14 . The gestalt of this operation shows the example of application to the optical control device 121, and drawing 14 is the theoretic top view showing the example of a configuration of this optical control device 121. The optical waveguide 122,123 of the NxN book with which the optical control device 121 of the gestalt of this operation was formed in the shape of a two dimensional array on the substrate (not shown), It is constituted as a matrix switch of NxN equipped with the optical coupling components 124 of two N to which the optical waveguide 122,123 which is respectively arranged in a part for the intersection of such optical waveguides 122,123, and corresponds was connected. It considers as the optical controlling elements 1, 11, 21, 41, and 61 of the gestalt of each operation which each optical coupling component 124 mentioned above, and the optical switch configuration of a configuration of that the refractive-index variable part by the photograph nick crystal structure is included like 81,101 grades.

[0147]

Therefore, a NxN matrix switch is constituted, the optical waveguide of arbitration can be made to be able to carry out optical-path conversion, and light can be made to transmit to it by changing suitably the refractive index of optical coupling components 124 part, and controlling the travelling direction of light. The example of illustration shows signs that light is transmitted in the direction shown by the arrow head by changing the refractive index of optical coupling components 124 part of each part so that light may carry out transparency advance of the optical coupling components 124 part which adds shading thinly and is shown.

[0148]

Moreover, according to the gestalt of this operation, it is possible to constitute a NxN matrix switch to a very minute field. For example, when the optical waveguide of 10-micrometer width of face has been arranged in 40-micrometer pitch, it is possible to arrange the matrix switch of 20x20 on 1mm square. If it is the structure of causing refractive-index change by power application, it is necessary to arrange an electrode but, and an optical switch can be constituted if there is a 5mm angle. And if it is magnitude of this level, an optical switch can be arranged on an electronic-circuitry substrate, and it can also use as an optical switch for optical INTAKONEKUSHON in a board.

[0149]

[The gestalt of the tenth operation]

The gestalt of operation of the tenth of this invention is explained based on drawing 15. Drawing 15 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 131 of the gestalt of this operation. The photograph nick crystal structure 132 is formed on a substrate (not shown), and the optical controlling element 131 of the gestalt of this operation is formed so that two or more photograph nick crystal line defect waveguides 133 may cross in the crystalline array of this photograph nick crystal structure 132. The phenomenon in which light resonates in the optical coupling part 134 which made such photograph nick crystal line defect waveguide 133 cross is a phenomenon peculiar to a photograph nick crystal. Q value is very high, and such structure may be able to be taken, and becomes possible [catching a photon to a part for an intersection]. Then, it is possible to control this resonance state and the optical switch whose prehension and disconnection of a photon are attained, a lightwave signal delay element, an optical filter, etc. can consist of changing that refractive index by using the part 135 containing a part for an intersection as a refractive-index change part. Since change of this condition is very sensitive, a condition changes by slight refractive-index change.

[0150]

[The gestalt of the eleventh operation]

The gestalt of operation of the eleventh of this invention is explained based on drawing 16. Drawing 16 is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element 141 of the gestalt of this operation. The photograph nick crystal structure 142 is formed on a substrate (not shown), and the optical controlling element 141 of the gestalt of this operation is formed so that the cross-joint-like photograph nick crystal line defect waveguide 143 may cross in the crystalline array of this photograph nick crystal structure 142. Four photograph nick crystal structure 142 parts separated by such photograph nick crystal line defect waveguide 143 are respectively classified into two fields according to the diagonal line, and it is made possible to change a refractive index according to an individual as eight refractive-index variable parts 144-151 on the whole.

[0151]

In the optical controlling element 141 of the gestalt of this operation, the phenomenon in which light resonates in the part 152 which made the photograph nick crystal line defect waveguide 143 cross is used. And it dissociates as refractive-index variable parts 144-151, and it becomes possible to control the switching direction of light by changing a refractive index according to an individual about these refractive-index variable parts 144-151. Thus, it is possible to control the resonance state and the optical switch whose prehension and disconnection of a photon are attained, a lightwave signal delay element, an optical filter, etc. can be constituted.

[0152]

[The gestalt of the twelfth operation]

The gestalt of operation of the twelfth of this invention is explained based on drawing 17. The gestalt of this operation shows the example of application to the optical control device 161, and drawing 17 is the theoretic top view showing the example of a configuration of this optical control device 161. The photograph nick crystal structure 162 is formed as a crystalline array all over a substrate (not shown), and, as for the optical control device 161 of the gestalt of this operation, the photograph nick crystal line defect waveguide 163 of

a NxNxN book is formed by two-dimensional into the crystalline array of this photograph nick crystal structure 162 in the lengthwise direction, the direction of right slant, and the direction of left slant. And it is constituted like the case of the optical controlling element 131,141 in which the optical coupling part 164 which such photograph nick crystal line defect waveguides 163 intersect contains a refractive-index change part respectively.

[0153]

If a part for the intersection of the photograph nick crystal line defect waveguide 163 (optical coupling part 164) is constituted as a refractive-index change part and carries out adjustable control of each refractive index according to an individual, since the resonance state will change, a matrix switch configuration can be carried out and the optical waveguide of arbitration can be made to carry out optical-path conversion in such a configuration.

[0154]

That is, if the example of the matrix switch which consists of combining two or more gestalten of the above-mentioned operation, a light corpuscle child array, and an optical delay element array is shown, for example, a refractive index is not changed, the lightwave signal which goes a part for an intersection straight on becomes possible [catching to a part for the intersection] by changing the refractive index for an intersection at a certain time. Furthermore, since the ease of penetrating of light changes by giving the refractive-index change for an intersection [a part of], it is thought that light can be advanced now in the direction which should progress essentially, and the different direction. By using such a phenomenon, it becomes possible to transmit light to the photograph nick crystal line defect waveguide 163 of arbitration.

[Brief Description of the Drawings]

[0155]

[Drawing 1] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the first of this invention.

[Drawing 2] A band Fig. [as opposed to a refractive index 1.4 in (a)] and (b) are the band Figs. to a refractive index 1.6.

[Drawing 3] It is the property Fig. showing the permeability to wavelength.

[Drawing 4] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the second of this invention.

[Drawing 5] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the third of this invention.

[Drawing 6] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the fourth of this invention.

[Drawing 7] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the fifth of this invention.

[Drawing 8] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the sixth of this invention.

[Drawing 9] It is a photograph nick band Fig. to TE polarization and TM polarization.

[Drawing 10] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the seventh of this invention.

[Drawing 11] It is the top view showing the example of defect structure.

[Drawing 12] It is the property Fig. showing the simulation result which showed change of the permeability to the wavelength of 1 train deficit.

[Drawing 13] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the eighth of this invention.

[Drawing 14] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical control device of the gestalt of operation of the ninth of this invention.

[Drawing 15] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the tenth of this invention.

[Drawing 16] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the eleventh of this invention.

[Drawing 17] It is the theoretic top view showing the example of a configuration of the optical control device of the gestalt of operation of the twelfth of this invention.

[Drawing 18] It is the top view showing the conventional example.

[Drawing 19] It is the theoretic top view showing the example of a deformation configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the first of this invention.

[Drawing 20] It is the theoretic top view showing another example of a deformation configuration.

[Drawing 21] It is the theoretic top view showing another example of a deformation configuration.

[Drawing 22] It is the theoretic top view showing another example of a deformation configuration.

[Drawing 23] It is the theoretic top view showing another example of a deformation configuration.

[Drawing 24] It is the theoretic top view showing the example of a deformation configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the seventh of this invention.

[Drawing 25] It is the property Fig. showing the simulation result of the permeability of multiplex ununiformity line defect structure by making change of the permeability to the wavelength of 1 train deficit into the example of a comparison.

[Drawing 26] It is the theoretic top view showing another example of a deformation configuration of the optical controlling element of the gestalt of operation of the seventh of this invention.

[Drawing 27] It is the theoretic top view showing another example of a deformation configuration.

[Description of Notations]

[0156]

1 Optical Controlling Element

2 Substrate

3-5 Optical waveguide

6 Optical Coupling Components

7 Photograph Nick Crystal Structure

8 Nine Field

11 Optical Controlling Element

12-14 Optical waveguide

15 Optical Coupling Components

16-18 Photograph nick crystal structure

21 Optical Controlling Element

22-25 Optical waveguide

26 Optical Coupling Components

27 Photograph Nick Crystal Structure

28-31 Field

41 Optical Controlling Element

42-45 Optical waveguide

46 Optical Coupling Components

47-51 Photograph nick crystal structure

52-55 Field

61 Optical Controlling Element

62-65 Optical waveguide

66 Optical Coupling Components

67 Photograph Nick Crystal Structure

68-71 Field

81 Optical Controlling Element

82-84 Optical waveguide

85 Optical Coupling Components

86-91 Photograph nick crystal structure

101 Optical Controlling Element

102-104 Optical waveguide

105 Optical Coupling Components

106-108 Photograph nick crystal structure

110 Defective Part

111 Optical Controlling Element

112-115 Optical waveguide

116 Photograph Nick Crystal Structure

117 Defective Part

124 Optical Coupling Components

131 Optical Controlling Element

132 Photograph Nick Crystal Structure

133 Photograph Nick Crystal Line Defect Waveguide

134 Optical Coupling Components
135 Part
141 Optical Controlling Element
142 Photograph Nick Crystal Structure
143 Photograph Nick Crystal Line Defect Waveguide
144-151 Refractive-index variable part
152 Part
162 Photograph Nick Crystal Structure
163 Photograph Nick Crystal Line Defect Waveguide
164 Optical Coupling Part
301-306 Line defect waveguide
307 Field
308 Line Defect Waveguide
401-403 Defective part
502-505 Line defect waveguide

[Translation done.]

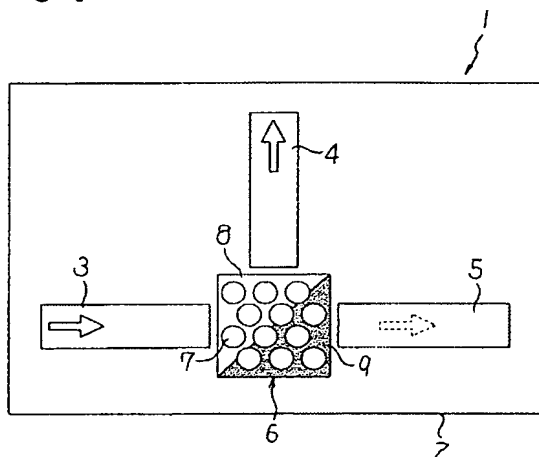
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

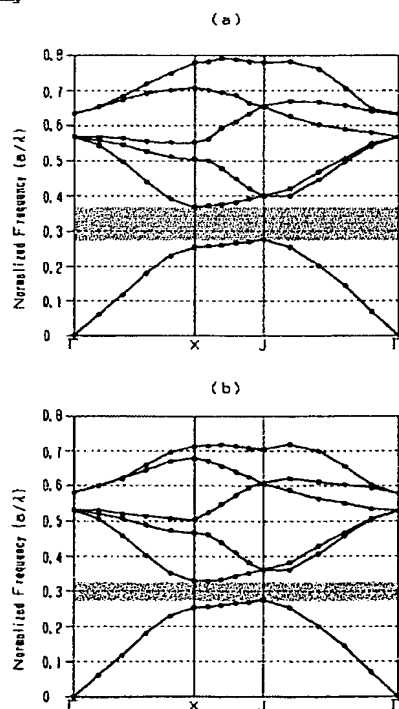
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]

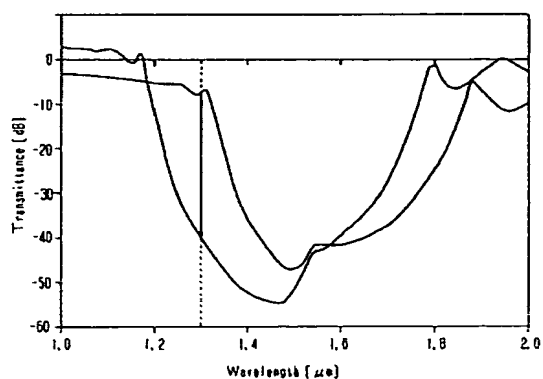


[Drawing 2]

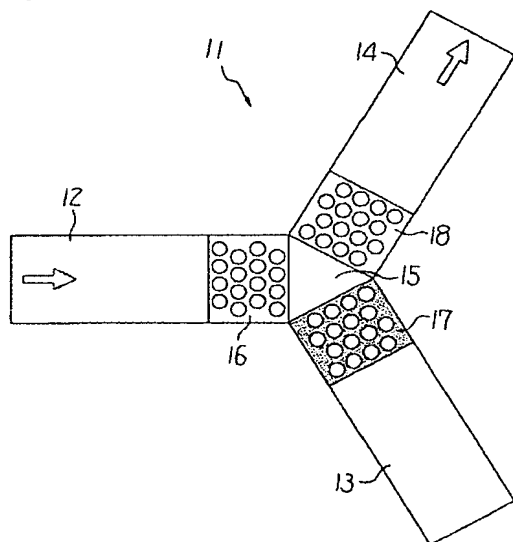


BEST AVAILABLE COPY

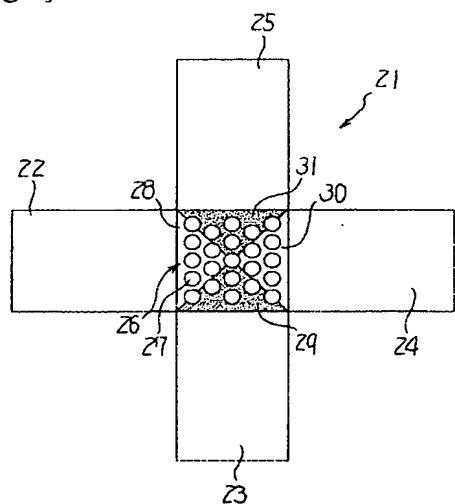
[Drawing 3]



[Drawing 4]

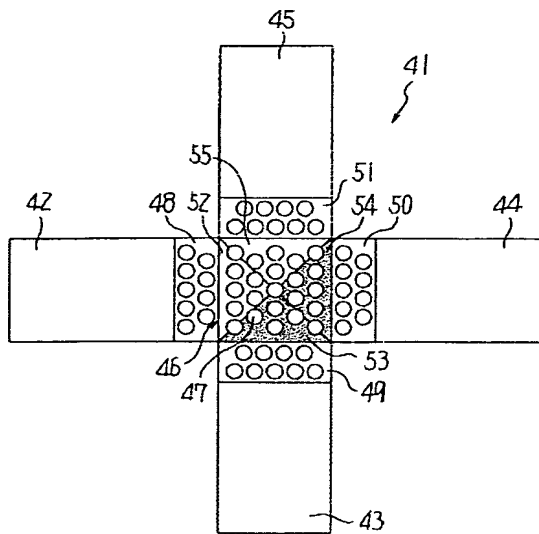


[Drawing 5]

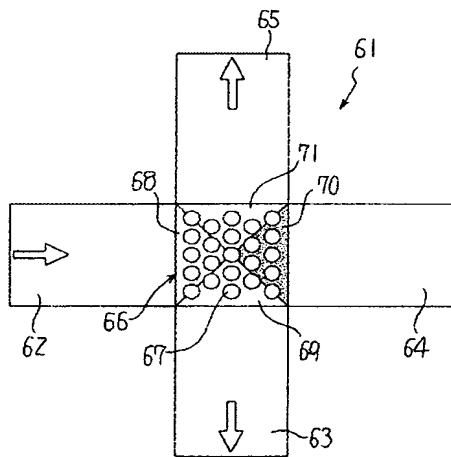


BEST AVAILABLE COPY

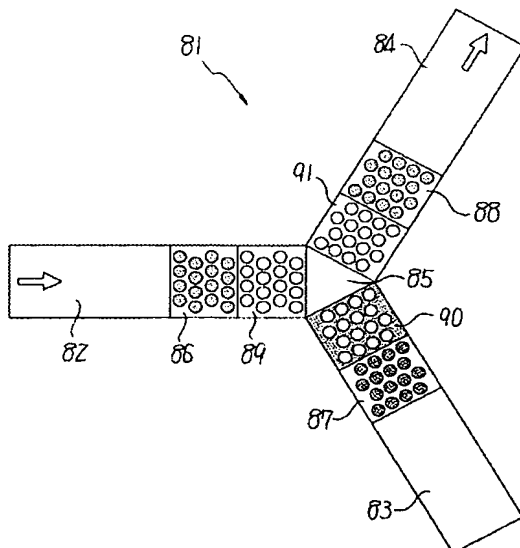
[Drawing 6]



[Drawing 7]

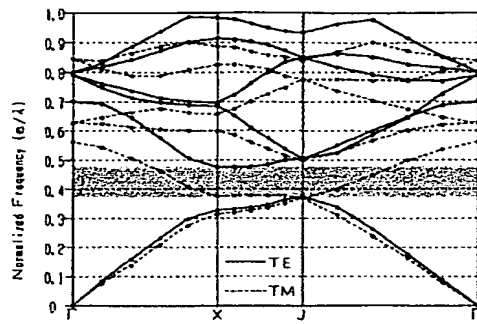


[Drawing 8]

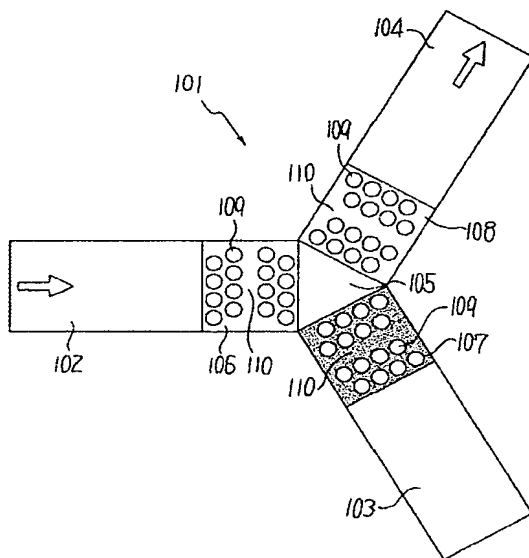


BEST AVAILABLE COPY

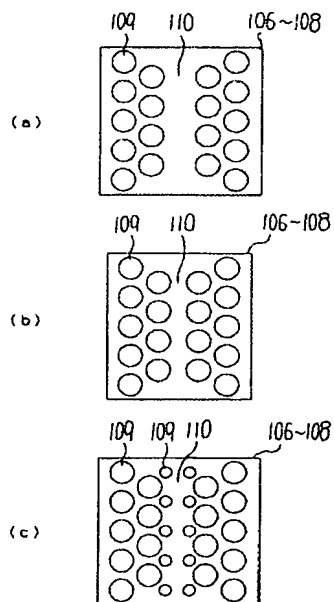
[Drawing 9]



[Drawing 10]

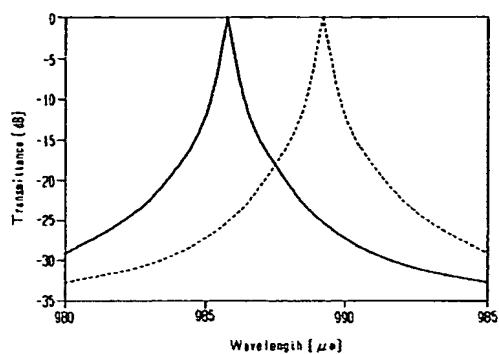


[Drawing 11]

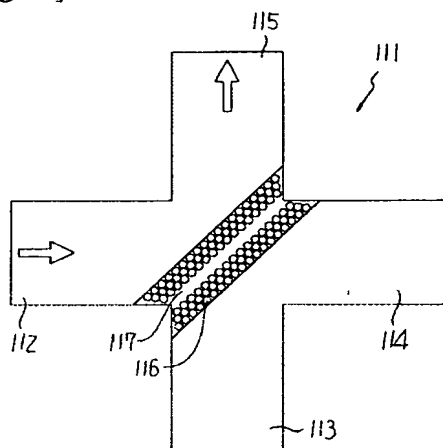


BEST AVAILABLE COPY

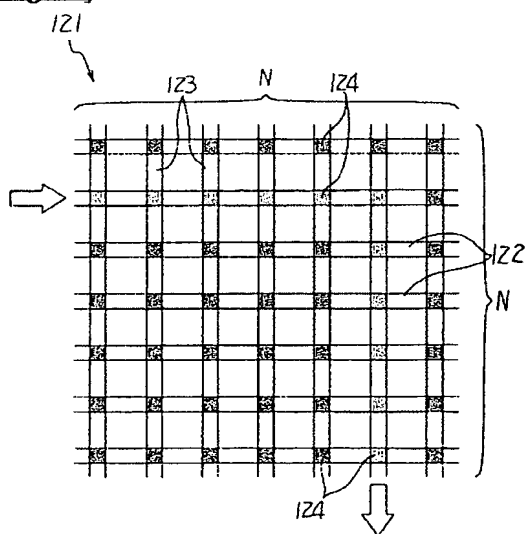
[Drawing 12]



[Drawing 13]

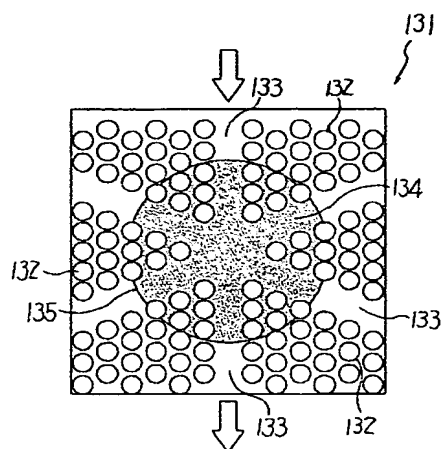


[Drawing 14]

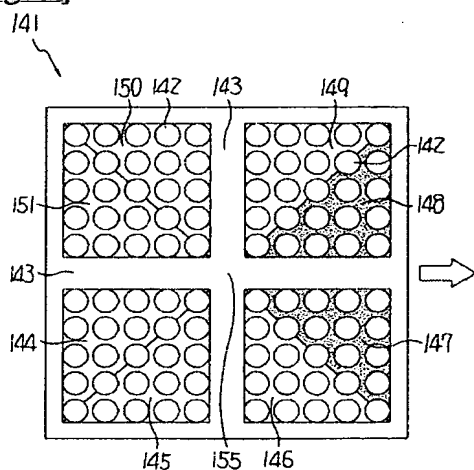


[Drawing 15]

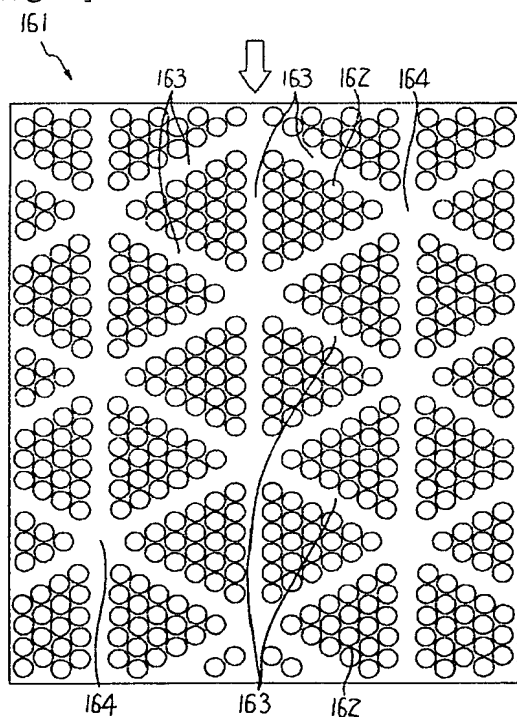
BEST AVAILABLE COPY



[Drawing 16]

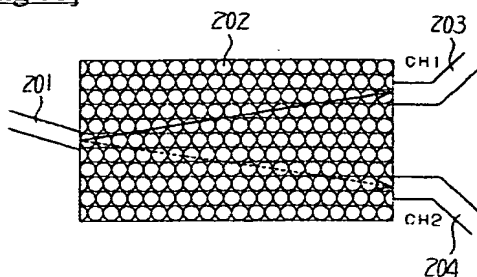


[Drawing 17]

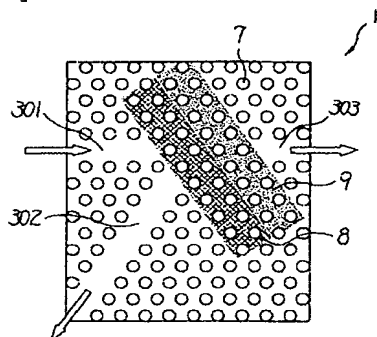


BEST AVAILABLE COPY

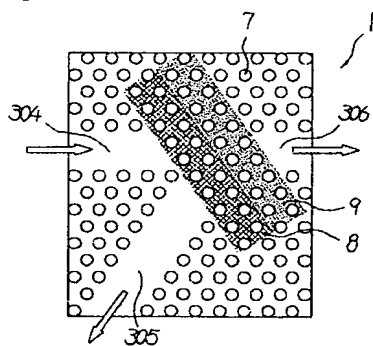
[Drawing 18]



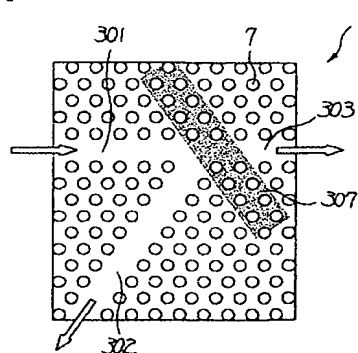
[Drawing 19]



[Drawing 20]

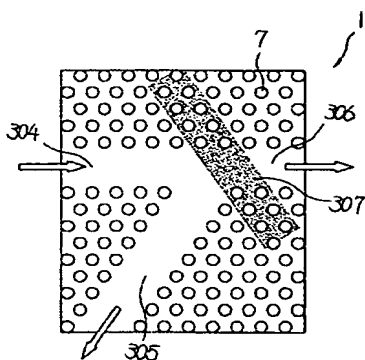


[Drawing 21]

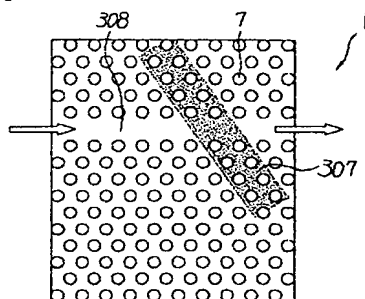


BEST AVAILABLE COPY

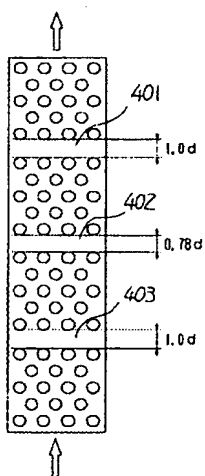
[Drawing 22]



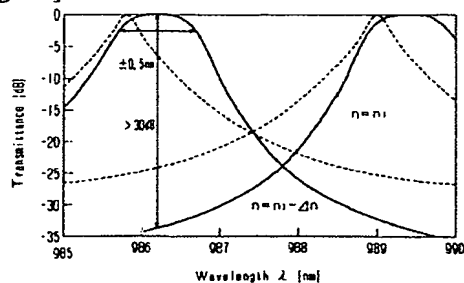
[Drawing 23]



[Drawing 24]

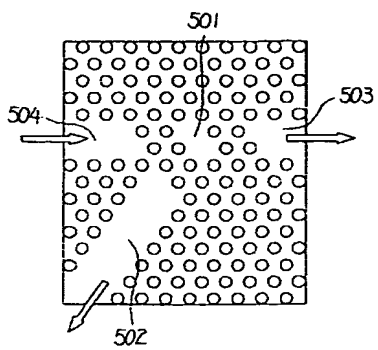


[Drawing 25]

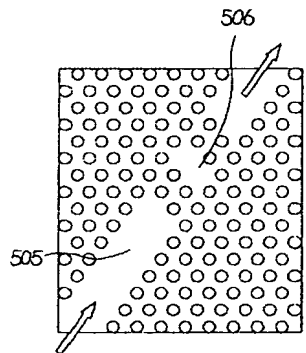


BEST AVAILABLE COPY

[Drawing 26]



[Drawing 27]



[Translation done.]

BEST AVAILABLE COPY